



TUGAS AKHIR – MO.141326

**STUDI KOMPARASI PERILAKU GERAK FLNG MASELA
TERHADAP *INTERNAL TURRET MOORING SYSTEM* DAN
*EXTERNAL TURRET MOORING SYSTEM***

THEOLEVI RAHMAN DAFFA

NRP. 4312100109

Dosen Pembimbing :

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko M.Sc., Ph.D

Murdjito M.Sc. Eng

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT – MO.141326

**COMPARISON STUDY THE EFFECT OF INTERNAL
TURRET MOORING SYSTEM AND EXTERNAL TURRET
MOORING SYSTEM DUE TO MOTION OF FLNG MASELA**

THEOLEVI RAHMAN DAFFA

NRP. 4312100109

Supervisors :

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko M.Sc., Ph.D

Murdjito M.Sc. Eng

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016

**Studi Komparasi Perilaku Gerak FLNG Masela Terhadap *Internal
Turret Mooring System* dan *External Turret Mooring System***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Theolevi Rahman Daffa

NRP. 4312 100 109

Disetujui oleh:

- | | |
|---|----------------|
| 1. Prof. Ir. Eko Budi Diantoro M.Sc., Ph.D. | (Pembimbing 1) |
| | |
| 2. Murtijito M.Sc. Eng | (Pembimbing 2) |
| | |
| 3. Dr. Rudi Walujo P., ST., M.T. | (Penguji 1) |
| | |
| 4. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D | (Penguji 2) |
| | |

SURABAYA, JULI 2016

ABSTRAK

STUDI KOMPARASI PERILAKU GERAK FLNG MASELA TERHADAP *INTERNAL TURRET MOORING SYSTEM* DAN *EXTERNAL TURRET MOORING SYSTEM*

Nama Mahasiswa : Theolevi Rahman Daffa
NRP : 4312100109
Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Prof.Ir.Eko Budi Djatmiko M.Sc. Ph.D
Murdjito M.Sc.Eng

Turret mooring system merupakan sistem tambat yang sering digunakan untuk FLNG di perairan dalam. Tugas akhir ini membahas tentang studi komparasi perilaku gerak, *offset*, dan *tension* dari *internal turret* dan *external turret*. Analisa diawali dengan pemodelan FLNG menggunakan *Hydrostar* untuk mendapatkan model *hull*, dan RAO dalam keadaan *free floating* yang nantinya akan di input pada *Ariane8*, lalu pada *Ariane8* dilakukan permodelan konfigurasi *turret mooring* 26m dibelakang FP dan didepan FP, setelah itu dilakukan analisa menggunakan *time history domain* selama 10800 detik untuk mendapatkan *motion*, *tension* dan *offset*. Diketahui untuk *external turret non-collinear* nilai *tension* signifikan terbesar terjadi di *mooring lines* 4 sebesar 2703,084 KN. Motion yang terjadi untuk mode gerakan *roll* sebesar (+) 3,978 deg, mode gerakan *pitch* (+) 0,217 deg, mode gerakan *yaw* (+) 46,688 deg. Nilai *offset* maksimum yang terjadi sebesar (-)385,844 m terhadap garis *transversal* dan sebesar (+)235,131 m terhadap garis *longitudinal*. Sementara nilai yang lebih kecil terjadi di konfigurasi *internal turret non-collinear* dimana nilai *tension* signifikan terbesar terjadi di *mooring lines* 4 sebesar 2075,015 KN. Motion yang terjadi untuk mode gerakan *roll* sebesar (+) 3,287 deg, mode gerakan *pitch* (+) 0,208 deg, mode gerakan *yaw* (+) 37,542 deg. Nilai *offset* maksimum yang terjadi sebesar (-)318,27 m terhadap garis *transversal* dan sebesar (+)193,984 m terhadap garis *longitudinal*. Kemudian dilakukan variasi jarak turret pada jarak 26m, 51,25m dan 71,75m dengan hasil nilai *tension*, *offset* dan *motion external turret* lebih signifikan dibandingkan *internal turret* di setiap variasi jarak.

Kata Kunci—*Turret mooring system*, *tension*, *motion*, *offset*

ABSTRACT

COMPARISON STUDY THE EFFECT OF INTERNAL TURRET MOORING SYSTEM AND EXTERNAL TURRET MOORING SYSTEM DUE TO MOTION OF FLNG MASELA

Name of Student : Theolevi Rahman Daffa
REG : 4312100112
Department : Department of Ocean Engineering, Faculty of Marine Technology, ITS
Supervisors : Prof.Ir.Eko Budi Djatmiko M.Sc. Ph.D
Murdjito M.Sc.Eng

Turret mooring is the most common system for mooring of FLNG. This final project discuss about comparative study of the behavior of motion, offset, and the tension of the internal turret mooring system and external turret mooring system. Analysis commenced with modeling FLNG using software Hydrostar to generate the hull model of FLNG, and RAO in free floating condition, which will be used as an input to software Ariane8 for further analysis. Ariane8 will be used for time history domain analysis of mooring system. The first stage of analysis on turret mooring system is modelled for 26m in front of FP and behind FP. The most significant tension for external turret mooring non-collinear is 2703.08 KN in line 4. The result of maximum value for external turret mooring are (+) 3.98 deg for roll motion, (+) 0.22 deg for pitch motion and (+) 37.54 deg for yaw motion. The maximum value for offset is (-) 385.84 m in transversal line and (+)235.13 m in longitudinal line. Whilst the smaller values occurred in the non-collinear internal turret mooring where the most significant tension is 2075,01 KN. The result of maximum value for internal turret mooring are (+) 3.29 deg for roll motion, (+) 0.21 deg for pitch motion and (+) 37.54 deg for yaw motion. The maximum value of offset is (-)318.27m in transversal line and (+)193.98 m in longitudinal line. Analysis is performed distance variation of the turret, at a distance of 26m, 51.25m and 71.75m from FP. These show the results of tension, offset and external turret motion are more significant than the internal turret at any distance variation.

Keyword : turret mooring system, tension, motion, offset

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | 1 |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | v |
| KATA PENGANTAR..... | vi |
| UCAPAN TERIMA KASIH | vii |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR..... | x |
| DAFTAR TABEL | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan | 3 |
| 1.4 Manfaat | 3 |
| 1.5 Batasan Masalah | 3 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI..... | 7 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka..... | 7 |
| 2.2 Dasar Teori | 8 |
| 2.2.1 Floating Liquified Natural Gas (FLNG)..... | 8 |
| 2.2.2 Sistem Tambat | 9 |
| 2.2.3 Teori Dasar Gerak Bangunan Laut..... | 15 |
| 2.2.4 Response Amplitude Operators (RAO)..... | 17 |
| 2.2.5 Spektrum Gelombang | 18 |
| 2.2.6 Spektrum Respons Struktur | 21 |
| 2.2.7 <i>Tension</i> pada tali tambat | 21 |
| 2.2.8 Simpangan (<i>Offset</i>) | 24 |
| 2.2.9 Karakteristik Gerak Kondisi Tertambat | 26 |
| BAB III..... | 29 |
| 3.1 Skema Diagram Alir | 29 |
| 3.2 Prosedur Penelitian | 30 |

| | | |
|----------------|---|----|
| 3.2.1 | Studi Literatur | 30 |
| 3.2.2 | Pemodelan Struktur dan kondisi lingkungan | 31 |
| 3.2.3 | Validasi | 31 |
| 3.2.4 | Analisa RAO FLNG pada saat <i>free floating</i> | 31 |
| 3.2.5 | Permodelan FLNG dan <i>turret mooring system</i> | 31 |
| 3.2.6 | Mendapatkan <i>output</i> dari <i>software Ariane8</i> | 31 |
| 3.2.7 | Analisa <i>output</i> dengan API RP2SK | 31 |
| 3.3 | Pengumpulan Data | 32 |
| 3.3.1 | Pengumpulan Data Struktur | 32 |
| 3.3.2 | <i>Mooring Properties</i> | 33 |
| 3.3.3 | Data Lingkungan | 35 |
| BAB IV | | 37 |
| 4.1 | Pemodelan Struktur FLNG..... | 37 |
| 4.2 | Skenario Analisis Karakteristik Gerak Struktur | 40 |
| 4.3 | Analisa Perilaku Gerak FLNG pada Gelombang Reguler Kondisi Terapung Bebas (<i>Free Floating</i>)..... | 41 |
| 4.4 | Permodelan FLNG Kondisi Tertambat | 47 |
| 4.5 | Permodelan Beban..... | 52 |
| 4.6 | Analisa <i>Motion</i> pada <i>FLNG</i> Kondisi Tertambat | 53 |
| 4.7 | Analisa <i>Tension Mooring Lines</i> | 58 |
| 4.8 | Analisa <i>Offset (excursion)</i> FLNG Setelah Tertambat | 63 |
| 4.9 | Analisa variasi jarak <i>turret mooring system</i> | 64 |
| 4.10 | Pengecekan Hasil Terhadap API RP 2SK | 67 |
| BAB V | | 69 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 69 |
| 5.2 | Saran | 70 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 71 |
| LAMPIRAN A | | |
| LAMPIRAN B | | |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1.1 Lokasi Operasi FLNG Masela, (Saipem,2015)..... | 1 |
| Gambar 1.2 <i>Floating Liquified Natural Gas</i> (FLNG), (Saipem,2015)..... | 2 |
| Gambar 2.1 Skema <i>Supply Chain</i> konvensional LNG (Technip, 2010)..... | 8 |
| Gambar 2.2 FLNG <i>Supply Chain</i> (Technip, 2010)..... | 9 |
| Gambar 2.3 (a) Ilustrasi bagaimana struktur apung ber- <i>weathervaning</i> (b) Komponen <i>Turret System</i> | 10 |
| Gambar 2.4 Sistem tambat pada struktur apung (Perwitasari, 2010)..... | 11 |
| Gambar 2.5 <i>Six degrees of freedom of vessel</i> (Allen, 2006)..... | 16 |
| Gambar 2.6 Penjelasan maksimum <i>offset</i> | 25 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian..... | 30 |
| Gambar 3.2 <i>Principle dimension</i> dari FLNG Masela (Saipem,2011)..... | 33 |
| Gambar 3.3 <i>Principle dimension</i> dari FLNG Masela (Saipem,2011)..... | 33 |
| Gambar 4.1 Model FLNG pada <i>Hydrostar</i> dilihat dari beberapa sisi : tampak isometri (gambar kiri), tampak atas (gambar kanan)..... | 37 |
| Gambar 4.2 Model FLNG pada <i>Hydrostar</i> dilihat dari beberapa sisi : tampak samping (gambar kiri), tampak depan (gambar kanan)..... | 38 |
| Gambar 4.3 Grafik RAO gerakan <i>heave</i> | 41 |
| Gambar 4.4 Grafik RAO gerakan <i>pitch</i> | 42 |
| Gambar 4.5 Grafik RAO gerakan <i>surge</i> | 43 |
| Gambar 4.6 Grafik RAO gerakan <i>roll</i> | 44 |
| Gambar 4.7 Grafik RAO gerakan <i>sway</i> | 45 |
| Gambar 4.8 Grafik RAO gerakan <i>yaw</i> | 46 |
| Gambar 4.9 Permodelan FLNG pada <i>Ariane8</i> | 47 |
| Gambar 4.10 Komponen Hidrostatik FLNG untuk <i>Ariane8</i> | 48 |
| Gambar 4.11 Komponen Hidrostatik FLNG untuk <i>Ariane8</i> | 49 |
| Gambar 4.12 Informasi <i>material properties wire rope</i> 0,098 m..... | 49 |
| Gambar 4.13 Konfigurasi umum permodelan <i>turret mooring system</i> pada <i>Ariane8</i> | 50 |
| Gambar 4.14 Permodelan <i>external turret mooring system</i> 26m pada <i>Ariane8</i> | 51 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.15 Permodelan <i>internal turret mooring system</i> 26m pada <i>Ariane8</i> | 51 |
| Gambar 4.16 Grafik <i>motion</i> gerakan <i>roll</i> (atas), <i>pitch</i> (tengah) dan <i>yaw</i> (bawah) konfigurasi <i>external turret mooring system</i> 26m dalam kondisi <i>collinear</i> | 54 |
| Gambar 4.17 Grafik <i>motion</i> gerakan <i>roll</i> (atas), <i>pitch</i> (tengah) dan <i>yaw</i> (bawah) konfigurasi <i>internal turret mooring system</i> 26m dalam kondisi <i>collinear</i> | 55 |
| Gambar 4.18 Grafik <i>motion</i> gerakan <i>roll</i> (atas), <i>pitch</i> (tengah) dan <i>yaw</i> (bawah) konfigurasi <i>external turret mooring system</i> 26m dalam kondisi <i>non-collinear</i> | 56 |
| Gambar 4.19 Grafik <i>motion</i> gerakan <i>roll</i> (atas), <i>pitch</i> (tengah) dan <i>yaw</i> (bawah) konfigurasi <i>internal turret mooring system</i> 26m dalam kondisi <i>non-collinear</i> | 57 |
| Gambar 4.20 Grafik perbandingan <i>tension external turret mooring system</i> dan <i>internal turret mooring system</i> pada kondisi <i>collinear</i> | 60 |
| Gambar 4.21 Grafik perbandingan <i>tension external turret mooring system</i> dan <i>internal turret mooring system</i> pada kondisi <i>non-collinear</i> | 61 |
| Gambar 4.22 Grafik <i>time history tension external turret mooring system</i> 26m dalam kondisi <i>collinear</i> | 62 |
| Gambar 4.23 Grafik <i>time history tension external turret mooring system</i> 26m dalam kondisi <i>Non-collinear</i> | 62 |
| Gambar 4.24 Grafik <i>time history offset external turret mooring system</i> 26m dalam kondisi <i>Non-collinear</i> | 63 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Spektrum gelombang untuk beberapa daerah (Chakrabarti, 1987) | 20 |
| Tabel 2.2 Kriteria <i>tension limit</i> dan <i>safety factor</i> pada <i>mooring</i> | 24 |
| Tabel 3.1 <i>Principle dimension</i> dari FLNG Masela (Saipem,2011) | 32 |
| Tabel 3.2 Spesifikasi segmen pada <i>mooring lines</i> (Saipem, 2011) | 34 |
| Tabel 3.3 Detail Lokasi Blok Masela | 35 |
| Tabel 3.4 Parameter <i>met-ocean</i> kondisi lingkungan Masela 200 tahun | 35 |
| Tabel 4.1 Validasi permodelan FLNG Masela pada <i>Hydrostar</i> | 39 |
| Tabel 4.2 Perbandingan <i>motion</i> signifikan FLNG pada tiap skenario | 58 |
| Tabel 4.3 Nilai <i>Tension Mooring Lines</i> dalam kondisi <i>Collinear</i> | 59 |
| Tabel 4.4 Nilai <i>Tension Mooring Lines</i> dalam kondisi <i>Non-Collinear</i> | 60 |
| Tabel 4.5 Nilai <i>Offset</i> FLNG pada kedua konfigurasi <i>turret mooring system</i> | 63 |
| Tabel 4.6 Nilai <i>Tension, Motion dan Offset</i> 51,25m <i>External Turret</i> | 64 |
| Tabel 4.7 Nilai <i>Tension, Motion dan Offset</i> 51,25m <i>Internal Turret</i> | 65 |
| Tabel 4.8 Nilai <i>Tension, Motion dan Offset</i> 71,75m <i>External Turret</i> | 65 |
| Tabel 4.9 Nilai <i>Tension, Motion dan Offset</i> 71,75m <i>Internal Turret</i> | 66 |
| Tabel 4.10 Nilai <i>safety factor</i> dari setiap konfigurasi <i>turret mooring system</i> | 67 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada awal tahun 2000 ditemukan cadangan gas bumi sebesar 10 triliun cubic feet ($242 \times 10^9 \text{ m}^3$) di Laut Arafura yang berada di antara perbatasan Indonesia, Timor Leste dan Australia. Dengan total cadangan gas yang sangat besar, diperkirakan Abadi *Gas Field* adalah salah satu blok gas terbesar yang ada di dunia. Dalam perkembangannya pada tahun 2013, untuk optimalisasi produksi gas di Abadi *Gas Field* akan dibuat suatu struktur apung yang dapat secara optimal dioperasikan dalam eksploitasi ladang gas di perairan laut dalam. Fasilitas struktur bangunan apung memiliki beberapa kelebihan yaitu, (a) kemampuan untuk berpindah setelah operasi selesai, (b) kapasitas muat dan distribusi yang cukup besar, (c) biaya operasi yang lebih rendah dibandingkan dengan biaya instalasi sistem perpipaan dan (d) tidak mensyaratkan struktur baru, yaitu struktur lama yang beralih fungsi setelah melalui tahapan konversi.

Fasilitas ini akan beroperasi di blok masela yang terletak di perairan laut timor pada kedalaman 600 meter yang terletak sejauh 400 km sebelah utara Kota Darwin, Australia dan sekitar 150 km sebelah barat daya Pulau Tanimbar di Laut Timor seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Lokasi Operasi FLNG Masela, (Saipem,2015)

Secara khusus untuk pengembangan Abadi Gas Field akan dibangun sebuah *Floating Liquefied Natural Gas* (FLNG). Seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.2, FLNG adalah sebuah fasilitas likuidifikasi gas alam yang ada mengapung diatas *gas field*. FLNG pada dasarnya akan melakukan proses produksi, likuidifikasi, *storage*, dan mentransfer Liquefied Natural Gas (LNG) di lepas pantai sebelum dibawa oleh *LNG Carrier* untuk didistribusikan ke pasar.



Gambar 1.2 *Floating Liquefied Natural Gas* (FLNG), (Saipem,2015)

Proyek *Floating Liquefied Natural Gas* akan menghabiskan biaya investasi sebesar US\$ 22 miliar dan akan menjadi proyek eksplorasi dan eksploitasi gas terbesar di Indonesia (CNN, 2015). Dengan tingginya biaya investasi pada proyek ini, maka dibutuhkan sebuah sistem yang tambat yang tepat untuk menunjang efisiensi produksi pada FLNG Masela. Untuk menjaga FLNG berada diposisinya maka harus dibuat suatu sistem tambat. Konfigurasi sistem tambat struktur berukuran besar seperti FLNG dan FPSO bisa berupa jenis tambat menyebar (*spread mooring system*) dan sistem tambat titik tunggal (*single point mooring system*) (Prastianto, 2006).

Sistem *turret mooring* didefinisikan sebagai sistem tambat dimana jumlah kaki *catenary mooring* yang dipasang pada *turret* merupakan bagian penting dari FLNG yang ditambat. *Turret* terdiri dari atas *bearings* yang menyebabkan struktur apung bisa berputar disekitar kaki jangkar. Sistem *turret mooring* itu sendiri dibagi menjadi dua jenis, yakni *internal* dan *external turret mooring*. Sistem *turret* ini memberikan kemampuan terhadap struktur apung untuk *weathervaning* sehingga didapatkan sebuah posisi dimana beban-beban lingkungan seperti arus, gelombang dan angin disekitar *mooring* menjadi kecil (Bungawardani, 2007).

Pada tugas akhir ini akan dilakukan studi komparasi perilaku dinamis pada FLNG terhadap *internal* dan *external mooring system*. Analisis dilakukan dengan menggunakan data FLNG Masela dan kondisi lingkungan yang ada, pada proses analisa ini akan dibantu *software Hydrostar V.7.25* dan *Ariane8*.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dikaji dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana perilaku gerak FLNG pada saat *free floating* ?
2. Bagaimana karakteristik gerak FLNG pada kondisi tertambat dengan *internal turret mooring system* dan *external turret mooring system* ?
3. Bagaimana perbandingan *tension* dan *offset* antara kedua *mooring system* tersebut ?

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah diatas, tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik gerak FLNG pada saat *free floating*.
2. Mengetahui karakteristik gerak FLNG pada kondisi tertambat dengan dengan *internal turret mooring system* dan *external turret mooring system*.
3. Mengetahui perbandingan *offset* dan *tension mooring lines* saat menggunakan *internal turret mooring system* dan *external turret mooring system*.

1.4 Manfaat

Dari hasil penelitian ini, dapat mengetahui informasi mengenai perbedaan gerak, *offset* dan juga mengetahui *tension* tali tambat dari *internal turret mooring system* dan *external turret mooring system* yang mungkin dapat berguna sebagai referensi untuk para teknisi yang akan merancang sistem tambat pada FLNG di lain waktu.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. FLNG yang digunakan adalah FLNG Masela

2. FLNG dianggap sebagai *rigid body*, sehingga kekuatan struktur FLNG tidak diperhitungkan
3. Beban yang ditinjau terdiri dari beban angin, beban gelombang dan beban arus.
4. Data lingkungan yang digunakan merupakan data lingkungan Masela *field*.
5. *Turret utility system* (misal :sistem hidrolis, sistem lubrikasi otomatis), *turret electrical system*, *turret instrumentation system*, tidak diperhitungkan dalam tugas akhir ini.
6. Beban lingkungan diperhitungkan dalam kondisi *collinear* dan *non-collinear*.
7. *Mooring lines* yang digunakan berjumlah *12 lines* yang terbagi dalam tiga *grouping lines*, sudut antara tiap *group lines* adalah 120° dan sudut antara *lines* dalam *satu group lines* adalah 5° .
8. Tidak dilakukan perhitungan analisis *riser* dan *hawser system*.
9. Analisa hidrostatik pada saat *free floating* menggunakan *software HydroStar*.
10. Analisa *tension* dan perilaku gerak pada saat kondisi tertambat menggunakan *software Ariane 7*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini dimulai dari Bab 1 yaitu pendahuluan yang menjelaskan tentang latar belakang dari tugas akhir yang akan dilakukan, rumusan masalah, tujuan yang akan dicapai dalam penelitian, manfaat dari penelitian, serta batasan masalah yang akan membatasi analisis yang akan dikerjakan dalam tugas akhir.

Pada Bab 2 dibahas tinjauan pustaka dan dasar teori yang menjelaskan tentang referensi dan juga dasar teori yang mendukung guna sebagai acuan dalam mengerjakan tugas akhir. Referensi tersebut bisa berupa jurnal, tugas akhir yang sudah dibuat sebelumnya terutamanya dalam fokus studi *turret mooring system* baik itu

internal turret mooring system maupun *external turret mooring system*. Terdapat beberapa jurnal penelitian mengenai studi komparasi tipe *mooring system* ataupun kondisi lingkungan. *Rules and Codes* yang digunakan untuk pengolahan data nilai maksimum dari hasil *time history domain analysis* adalah API RP 2SK, *rules* ini juga digunakan untuk melakukan pengecekan apakah nilai *tension* yang dihasilkan sudah memenuhi syarat *safety factor* yang ditentukan. *Rules and Codes* lainnya yang digunakan adalah *DNV OS-103* and *Lloyd Register*.

Bab 3 menjelaskan metodologi penelitian dalam tugas akhir ini. Bab ini menjelaskan skema diagram alir metodologi penelitian, prosedur penelitian dan data penelitian.

Bab 4 menjelaskan tentang data dan pembahasan hasil analisa penelitian dalam tugas akhir ini. Pada bab ini didapatkan grafik *time history domain analysis* untuk *motion*, *tension* dan *offset* pada kedua konfigurasi *turret mooring system*. Dilakukan pengolahan data mengacu pada API RP2SK untuk mendapatkan nilai maksimum dari *motion*, *tension* dan *offset*.

Bab 5 menjelaskan tentang kesimpulan tugas akhir yang mana berisikan tentang kesimpulan dari hasil *ouput* yang telah kita analisis. Diapatkan komparasi nilai *output* dari konfigurasi *internal turret mooring system* dan *external turret mooring system*. Pada akhir bab ini terdapat beberapa saran untuk menyempurnakan dari hasil *output* analisis tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sistem tambat digunakan pada struktur terapung guna menjaga posisi struktur apung tersebut berada pada lokasi yang diinginkan. Menurut penelitian Hang Shoon dan Choi (2013), *turret* merupakan salah satu jenis sistem tambat yang banyak digunakan untuk struktur besar seperti FPSO dan FLNG. *Turret* digunakan untuk menjaga gerakan FLNG dari kondisi lingkungan yang ekstrim. Sistem tambat turret terdiri atas *bearings* yang menyebabkan kapal bisa berputar di sekitar kaki jangkar. Sistem turret ini memberikan kemampuan *weathervaning* kepada FLNG sehingga didapatkan sebuah posisi dimana beban-beban lingkungan seperti arus, gelombang dan angin yang bekerja di sekitar *mooring* menjadi kecil (API RP 2 SK,1996). Pada dasarnya terdapat dua jenis *turret mooring system* yaitu *internal turret mooring system* dan *external turret mooring system*.

Beberapa studi juga telah dilakukan dalam menganalisa *turret mooring system*, seperti yang dilakukan oleh Bungawardani (2007) yang menghitung respon dinamis *external turret mooring system* pada FPSO dan Mahdarezza (2010) yang menganalisis perilaku FLNG dengan variasi metocean terhadap *external turret mooring system*. Simos (1998) melakukan permodelan eksperimen *turret mooring system* untuk mengetahui respon dinamis pada FPSO, Howell (2001) membahas mengenai basis desain untuk pembangunan *turret mooring system* pada Terra Nova FPSO. Wichers (1997) melakukan analisa perilaku *moored tanker* dengan variasi *met-ocean* yang ekstrim. Selain *external turret mooring system*, terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk studi *internal turret mooring system* seperti yang dilakukan Prasiwi (2014) yang menghitung ULS (*Ultimate Limit State*) dan ALS (*Accidental Limit State*) pada *internal turret*. Penelitian lain juga dilakukan oleh Kannah (2006) yang membahas efek dari lokasi turret pada perilaku dinamis FPSO. Beberapa studi komparasi juga telah dilakukan untuk beberapa kasus *mooring system*, seperti yang dilakukan Allen (2001) yang melakukan studi komparasi *turret mooring*

system dan *spread mooring system* untuk perairan *deep water*. Delepine (1998) melakukan studi komparasi *disconnectable* dan *permanent single point mooring system* untuk kondisi lingkungan ekstrim pada FPSO.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Floating Liquified Natural Gas (FLNG)

FLNG adalah struktur apung yang serupa dengan *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO), pada dasarnya FLNG adalah kapal lambung tunggal (*monohull*) yang difungsikan sebagai tempat untuk mengakomodasi fasilitas di atas geladak guna memproses produk *natural gas* dan sekaligus menyimpannya di dalam tangki-tangki pada lambungnya sebelum produk tersebut ditransfer ke kapal-kapal *LNG Carrier* untuk didistribusikan ke pasaran . FLNG diperkenalkan untuk menggantikan sistem kombinasi anjungan produksi dengan fasilitas penyimpanan terapung (Mahdarezza, 2010). Integrasi dua fungsi yang dapat diakomodasikan dalam satu tempat, tentu akan memberikan efisiensi teknis dan ekonomis dari beberapa aspek, baik pada tahap pembangunan maupun operasinya.



Gambar 2.1 Skema *Supply Chain* konvensional LNG (Technip, 2010)

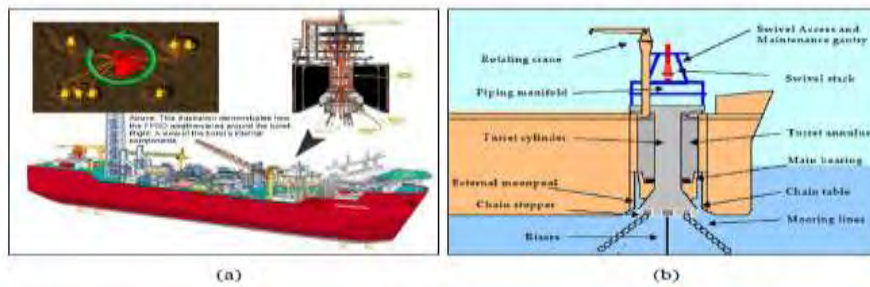


Gambar 2.2 FLNG Supply Chain (Technip, 2010)

Pada umumnya respon FLNG, *mooring lines* dan *riser* tidak dapat dipisahkan satu sama lain. *Offset* pada FLNG dibatasi oleh *mooring system* dan *riser*, sedangkan *offset* tali tambat tergantung pada karakteristik perilaku FLNG yang dapat berubah-ubah karena disebabkan oleh gaya pengembali (*restoring force*) dan gaya redaman (*drag force*) dari *mooring system* dan *riser*. Perlu dicatat bahwa pengaruh *motion* dan *offset* FLNG akan sangat berpengaruh pada *tension mooring lines* juga operabilitas dari FLNG sendiri.

2.2.2 Sistem Tambat

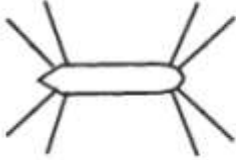


Fungsi sistem tambat atau *Mooring* pada prinsipnya adalah untuk "mengamankan" posisi kapal agar tetap pada tempatnya. Terdapat berbagai jenis sistem tambat, tetapi yang sering digunakan pada FLNG adalah tipe *turret mooring system*. Sistem turret ini memberikan kemampuan *weathervaning* kepada FPSO sehingga didapatkan sebuah posisi dimana beban-beban lingkungan seperti arus, gelombang dan angin yang bekerja di sekitar mooring menjadi kecil (API RP 2 SK, 1996).



Gambar 2.3 (a) Ilustrasi bagaimana struktur apung ber-*weathervaning*
(b) Komponen *Turret System*

Pada dasarnya ada dua tipe dalam *turret mooring system* yaitu *internal turret mooring system* dan *external turret mooring system*. Perbedaan paling mendasar yang membedakan antara *internal turret mooring system* dan *external turret mooring system* adalah letak turret pada struktur bangunan apung. *Internal Turret* adalah system yang terpasang pada ujung depan kapal atau barge dan disangga oleh *roller bearing*, bisa ditempatkan di *moonpool* menghadap dasar kapal ataupun di dek. Tempat berputar bagian luar dari *bearing* dihubungkan pada kapal, sedangkan bagian dalamnya adalah bagian dari *turret*. Sementara *external turret* adalah terdiri dari struktur kotak baja dengan jarak dari haluan atau buritan yang tetap ataupun bisa ditambah, menyediakan pondasi untuk pengaturan *bearing* dan *turret* yang bias berotasi. *Bearing* menyediakan tempat tetap untuk tempat rantai jangkar dan selang transfer fluida untuk dipasang.

Kaki rantai di tambatkan di dasar laut dengan jangkar ataupun *piles*. Koneksi produk dan utilitas dibuat diantara fasilitas pada tanker dan dasar laut melalui susunan *swivel* pada *turret*, sehingga tanker bisa *weathervane* disekeliling tempat yang tetap dan tidak mengganggu proses produksi. Pada dasarnya kedua konfigurasi *turret mooring system* ini dapat mengakomodasi gerakan kapal untuk melakukan gerakan rotasi atau *weathervaning* yang membedakan hanya lengan momen yang terjadi karena pengaruh jarak *turret* ke sumbu putar.

| Spread Mooring | Turret | |
|---|---|--|
| | External Turret System | Internal Turret System |
|  |  |  |

Gambar 2.4 Sistem tambat pada struktur apung (Perwitasari, 2010)

Beban lingkungan (*Environmental Load*) adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu bangunan lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Beban lingkungan yang biasanya digunakan dalam perancangan struktur bangunan apung adalah beban angin, beban arus dan beban lingkungan. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada sub-bab 2.2.3.1 hingga 2.2.3.3.

2.2.2.1 Beban angin

Beban angin merupakan beban dinamis, namun beberapa struktur akan meresponnya pada model statis yang paling mendekati. Dalam perancangan sebuah *offshore structure* pada umumnya, perhitungan beban angin pada kondisi terikat dihitung menggunakan persamaan berdasarkan *OCIMF mooring equipment guidelines* – 1997:

Longitudinal wind force

$$F_{xw} = C_{xw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_T \quad (2.1)$$

Lateral wind force

$$F_{yw} = C_{yw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_L \quad (2.2)$$

Dimana :

F_{xw} = gaya angin longitudinal (kN)

F_{yw} = gaya angin lateral (kN)

C_{xw} = koefisien gaya angin longitudinal non dimensional

- C_{yW} = koefisien gaya angin transfersal non dimensional
 ρ_w = *density* udara = 1.223 Kg/m³ pada 20⁰ C
 V_w = kecepatan angin pada ketinggian 10m (knot)
 A_T = luas penampang transfersal diatas air (m²)
 A_L = luas penampang longitudinal diatas air (m²)

2.2.2.2 Beban arus

Beban arus merupakan salah satu beban lingkungan yang memberikan gaya terhadap *offshore structure*. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi linier berdasarkan *OCIMF mooring equipment guidelines* – 1997 dituliskan :

Longitudinal current force

$$F_{xc} = C_{xc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \quad (2.3)$$

Lateral current force

$$F_{yc} = C_{yc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \quad (2.4)$$

- F_{xc} = gaya arus longitudinal (kN)
 F_{yc} = gaya arus lateral (kN)
 C_{xc} = koefisien gaya arus longitudinal non dimensional
 C_{yc} = koefisien gaya arus transfersal non dimensional
 ρ_c = densiti air laut = 1025 Kg/m³ pada 20⁰ C
 V_c = kecepatan arus pada ketinggian 10m (knot)
 T = Draft kapal (m)
 L_{BP} = *length between perpendicular* (m)

2.2.2.3 Beban gelombang

Syarat pemilihan teori untuk perhitungan gaya gelombang didasarkan pada perbandingan antara diameter struktur (D) dengan panjang gelombang (λ) sebagai berikut :

$D/\lambda > 1$ = gelombang mendekati pemantulan murni, persamaan morison tidak valid

$D/\lambda > 0,2$ = difraksi gelombang perlu diperhitungkan, persamaan morison tidak valid

$D/\lambda < 0,2$ = persamaan morison valid

Berikut adalah teori yang digunakan pada perhitungan gaya gelombang (Indiyono, 2003), yaitu :

a. Teori Morison

Persamaan morison mengasumsikan bahwa gelombang terdiri dari komponen gaya inersia dan *drag force* (hambatan) yang dijumlahkan secara linier. Persamaan morison lebih tepat diterapkan pada kasus struktur dimana gaya hambatan merupakan komponen yang dominan. Hal ini biasanya dijumpai pada struktur yang ukurannya (D) relatif kecil dibandingkan dengan panjang gelombangnya (λ).

b. Teori Froude-Krylov

Froude-Krylov digunakan bilamana gaya hambatan relatif kecil dan gaya inersia dianggap lebih berpengaruh, dimana struktur dianggap kecil. Teori ini mengadopsi metode tekanan gelombang *incident* dan bidang tekanan pada permukaan struktur. Keuntungan dari teori ini adalah untuk struktur yang simetris, perhitungan gaya dapat dilakukan dengan persamaan terangkai (*closed-form*) dan koefisien-koefisien gayanya mudah ditentukan.

c. Teori Difraksi

Bilamana suatu struktur mempunyai ukuran yang relatif besar, yakni memiliki ukuran yang kurang lebih sama dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang di sekitarnya.

Dalam hal ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang.

Teori perhitungan gaya gelombang yang tepat untuk analisis *mooring* pada FLNG adalah teori difraksi, dimana persamaan Navier-Stokes merupakan persamaan yang sering digunakan pada permasalahan difraksi dan teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang linier (Airy). Gaya gelombang difraksi mempunyai efek yang signifikan terhadap *floating structure* di perairan laut dalam.

Gaya dan momen eksitasi untuk gerakan sway, heave, dan roll yang disebabkan oleh difraksi dapat diekspresikan dalam matrik persamaan berikut :

$$\begin{bmatrix} f_{(2)}^D(x) \\ f_{(3)}^D(x) \\ f_{(4)}^D(x) \end{bmatrix} = i\rho \int_{s(x)} e^{k \cdot z} \begin{bmatrix} \varphi_D^{(0)}(y, z, k, \mu) \\ \varphi_D^{(e)}(y, z, k, \mu) \\ \varphi_{(D)}^{(0)}(y, z, k, \mu) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -dz \\ dy \\ y = dy + (z - z_0)dz \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

dengan :

$\varphi_D^{(0)}$ = kecepatan potensial difraksi pada fungsi *odd complex*

$\varphi_D^{(e)}$ = kecepatan potensial difraksi pada fungsi *even complex*

Kecepatan potensial difraksi (φ_D) dapat diekspresikan dalam persamaan dengan menggunakan diferensiasi normal.

$$\frac{\partial}{\partial n} \varphi_D^{(m)} = \left[\sum_{j=l}^N Q_j^{(m)} I_{ij}^{(m)} + \sum_{j=l}^N Q_{N+j}^{(m)} J_{ij}^{(m)} \right] + i \left[\sum_{j=l}^N Q_j^{(m)} I_{ij}^{(m)} - \sum_{j=l}^N Q_{N+j}^{(m)} J_{ij}^{(m)} \right] \quad (3.6)$$

dengan :

Q_j = *green function* pada segmen j

I_{ij}, J_{ij} = koefisien *influence*

Untuk gaya gelombang *time series* dapat dibangkitkan dari spektrum gelombang sebagai *first order* dan *second order*. *First order* adalah gelombang dengan periode kecil yang daerah pembangkitannya di daerah itu sendiri dan

berpengaruh dominan pada gerakan bangunan apung. Berikut adalah persamaan gaya gelombang *first order* ,

$$F_{wv}^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^N F_{wv}^{(1)}(\omega_i) \cos[\omega_i t + \varepsilon_i] \alpha_i \quad (2.7)$$

dengan :

$F_{wv}^{(1)}(t)$ = gaya gelombang *first order* tergantung waktu

$F_{wv}^{(1)}(w)$ = gaya *exciting* gelombang *first order* per unit amplitude gelombang

ε_i = sudut fase komponen gelombang *first order*

α_i = amplitudo komponen gelombang *first order*

second order adalah gelombang dengan periode tinggi yang daerah pembangkitannya tidak di daerah itu (jauh dari lokasi gelombang terjadi) dan berpengaruh dominan pada kekuatan *mooring system*. Berikut adalah persamaan gaya gelombang *second order*.

$$F_{wv}^{(2)}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_i a_j D_{ij} \cos [(\omega_i - \omega_j)t + (\varepsilon_i - \varepsilon_j)] \quad (2.8)$$

dengan :

D_{ij} = *drift force* per unit amplitude gelombang

2.2.3 Teori Dasar Gerak Bangunan Laut

Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional. Berikut adalah keenam mode gerakan tersebut dengan ilustrasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.5.

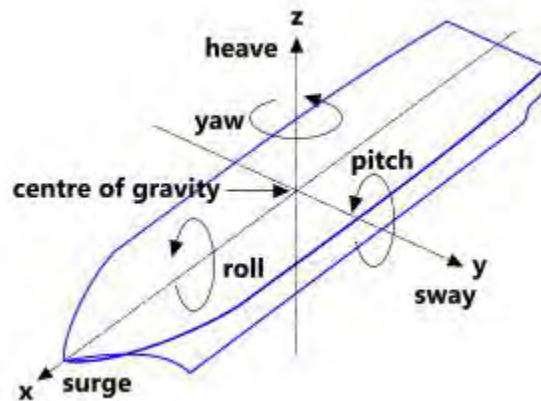
1. Mode gerak translasional

- Surge, gerakan transversal arah sumbu x
- Sway, gerakan transversal arah sumbu y
- Heave, gerakan transversal arah sumbu z

2. Mode gerak rotasional

- Roll, gerakan rotasional arah sumbu x
- Pitch, gerakan rotasional arah sumbu y
- Yaw, gerakan rotasional arah sumbu z

Definisi gerakan bangunan laut dalam enam derajat kebebasan dapat dijelaskan dengan Gambar. 2.5. Dengan memakai konversi sumbu tangan kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu x,y dan z, adalah masing-masing *surge* (ζ_1), *sway* (ζ_2) dan *heave* (ζ_3), sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll* (ζ_4), *pitch* (ζ_5) dan *yaw* (ζ_6).



Gambar 2.5 *Six degrees of freedom of vessel* (Allen, 2006)

Dengan asumsi bahwa gerakan-gerakan osilasi tersebut adalah linier dan harmonik, maka enam persamaan diferensial gerakan kopel dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk}) \ddot{\xi}_k + B_{jk} \dot{\xi}_k + C_{jk} \xi_k] = F_j e^{i\omega t}, j = 1 \quad (2.9)$$

dengan

- \mathbf{M}_{jk} = matriks massa dan momen inersia massa bangunan laut,
 \mathbf{A}_{jk} = matriks koefisien-koefisien massa tambah hidrodinamik,
 \mathbf{B}_{jk} = matriks koefisien-koefisien redaman hidrodinamik,
 \mathbf{C}_{jk} = matriks koefisien-koefisien kekakuan atau gaya dan momen hidrostatik,
 \mathbf{F}_j = matriks gaya eksitasi (F_1, F_2, F_3) dan momen eksitasi (M_4, M_5, M_6) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh $e^{i\omega_e t}$),
 F_1 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *surge*,
 F_2 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *sway*,
 F_3 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *heave*,
 M_4 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *roll*,
 M_5 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *pitch*,
 M_6 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *yaw*,
 ζ_k = elevasi gerakan pada moda ke k ,
 $\dot{\zeta}_k$ = elevasi kecepatan gerak pada moda ke k ,
 $\ddot{\zeta}_k$ = elevasi percepatan gerak pada moda ke k .

Langkah berikutnya dalam menyelesaikan persamaan gerak adalah menentukan harga koefisien-koefisien massa tambah, redaman dan hidrostatik. Dari persamaan gerak ini didapatkan hasil berupa karakteristik gerakan kapal. Informasi ini pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik, di mana perbandingan gerakan pada mode tertentu ζ_j dengan parameter tinggi (atau amplitudo gelombang, ζ_a) diberikan sebagai fungsi frekuensi encounter ω_e dari sumber eksitasi. Informasi gerakan yang demikian ini dinamakan *Response Amplitudo Operator* (RAO).

2.2.4 Response Amplitude Operators (RAO)

Setelah menjelaskan dengan seksama tentang teori gerakan bangunan laut, pada akhirnya hasil yang diperlukan oleh perancang, serta pada tahap tertentu oleh operator, adalah informasi tentang karakteristik gerakan itu sendiri. Informasi ini pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah berupa

parameter frekuensi, sedangkan ordinatnya adalah merupakan rasio antara amplitudo gerakan pada mode tertentu, ζ_{ko} , dengan amplitudo gelombang, ζ_o , yang dikenal sebagai *Response Amplitude Operator* (RAO). Frekuensi yang dipakai sebagai absis dapat berupa frekuensi gelombang insiden, ω , frekuensi gelombang papasan, ω_e , atau frekuensi non-dimensi, disesuaikan dengan keperluan analisisnya. Pemakaian frekuensi non-dimensi akan memberikan fleksibilitas bila data respons gerakan akan diskala untuk menganalisis perilaku bangunan laut yang lebih besar, ataupun lebih kecil, namun mempunyai konfigurasi yang tetap; yang umumnya dijumpai pada pemodelan fisik di laboratorium hidrodinamika. Frekuensi non-dimensi, baik yang terkait dengan gelombang insiden maupun gelombang papasan, adalah parameter yang diperoleh dari frekuensi gelombang dengan memperhitungkan ukuran panjang bangunan, L , dan percepatan gravitasi, g .

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{ko}(\omega)}{\zeta_o(\omega)} \quad (2.10)$$

Dimana :

$\zeta_{ko}(\omega)$ = amplitudo struktur

$\zeta_o(\omega)$ = amplitudo gelombang orde-1

2.2.5 Spektrum Gelombang

Teori gelombang reguler dapat diaplikasikan pada saat desain metode *single wave* di gunakan. Ini tergantung dari metode yang digunakan pada saat proses pendesainan. Pada gelombang acak, ini di deskripsikan dengan densitas spektrum

energi. Spektrum energi gelombang mendeskripsikan energi yang terkandung dari gelombang dan itu didistribusikan keseluruhan jangkauan frekuensi pada gelombang acak. Oleh karena itu. Metode gelombang acak mungkin berguna khususnya pada tahap perencanaan bangunan terapung. (Chakrabakti. 1972) Pemilihan spektrum energi gelombang didasarkan pada kondisi *real* laut yang ditinjau.

Spektrum gelombang yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah spektrum JONSWAP. Persamaan spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari persamaan spektrum Pierson-Morkowitz yang disesuaikan dengan kondisi laut yang ada (Djarmiko,2012). JONSWAP merupakan proyek yang dilakukan pada perairan North Sea. Spektrum JONSWAP mendeskripsikan angin yang membangkitkan gelombang dengan kondisi *sea state* yang ekstrim.

Kriteria yang ada di DNV RP-C205, bahwa spektrum JONSWAP dapat diaplikasikan untuk perairan dengan :

$$3.6 < T_p / (H_s)^{1/2} < 5 \quad (2.11)$$

Hal ini didukung dengan Tabel 2.1 yang dikutip dari pernyataan yang ada pada buku Chakrabarti (1987) bahwa pada kondisi survival di perairan Teluk Meksiko, yang tepat adalah penggunaan spektrum JONSWAP.

Formulasi spektra JONSWAP banyak dipakai dalam perancangan dan analisis bangunan lepas pantai yang dioperasikan di Indonesia. Hal yang mendasari pemakaian spektra JONSWAP dikarenakan karena perairan Indonesia di mana kebanyakan bangunan lepas pantai untuk kegiatan migas dioperasikan adalah perairan kepulauan atau tertutup. Namun dari sejumlah kajian, untuk perairan Indonesia disarankan memakai parameter γ berkisar dari 2.0 hingga 2.5. Hal ini pada intinya adalah untuk mengurangi dominasi energi yang berkontribusi oleh frekuensi gelombang tertentu saja (Djarmiko,2012).

Tabel 2.1 Spektrum gelombang untuk beberapa daerah (Chakrabarti, 1987)

| Location | Operational | Survival |
|-----------------------|-------------|----------|
| Gulf of Mexico | P-M | JONSWAP |
| North Sea | JONSWAP | JONSWAP |
| Northern North Sea | JONSWAP | JONSWAP |
| Offshore Brazil | P-M | P-M |
| Western Australia | P-M | P-M |
| Offshore Newfoundland | P-M | P-M |
| West Africa | P-M | P-M |

Persamaan spektrum JONSWAP dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_j(\omega) = A_\gamma S_{PM}(\omega) \gamma^{\exp\left(-0.5\left(\exp\left(\frac{\omega-\omega_p}{\sigma\omega_p}\right)^2\right)\right)} \quad (2.12)$$

Dengan,

$$\begin{aligned} S_{PM} &= \text{Spektrum } \textit{Pierson-Moskowitz} \\ &= \frac{5}{16} H_s^2 \omega_p^{-4} \omega^{-5} \cdot \exp\left(\frac{-5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \end{aligned} \quad (2.13)$$

H_s = tinggi gelombang signifikan

ω_p = $2\pi/T_p$ (*angular spectral peak frequency*)

γ = Non-dimensional parameter bentuk puncak (*peakness parameter*)

= 2.0 – 2.5 untuk perairan Indonesia

σ = *spectral width parameter*

$\sigma = 0.07$ untuk $\omega \leq \omega_p$

$\sigma = 0.09$ untuk $\omega > \omega_p$

A_γ = $1 - 0.287 \ln(\gamma)$ adalah *normalizing factor*

2.2.6 Spektrum Respons Struktur

Spektrum respons didefinisikan sebagai respons kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Spektrum respons merupakan perkalian antara spektrum gelombang dengan RAO kuadrat, secara matematis dapat ditulis seperti pada persamaan 2.14

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.14)$$

Dimana :

S_R = spektrum respons (m^2 -sec)

$S(\omega)$ = spektrum gelombang (m^2 -sec)

$RAO(\omega)$ = transfer function

ω = frekuensi gelombang (rad/sec)

2.2.7 Tension pada tali tambat

Pada saat FLNG telah tertambat dengan *mooring system* dan terkena beban lingkungan maka akan timbul tarikan (*tension*) pada setiap *line* di *mooring system*.

a. Mean tension

Mean tension didefinisikan sebagai *line tension* yang berkaitan dengan *mean offset* pada *vessel*.

b. *Maximum Tension*

Ketika pendekatan *frequency domain* digunakan pada saat simulasi *vessel dynamics*, *maximum tension* adalah *mean tension* ditambah kombinasi *wave frequency* dan *low frequency tension*..

Menurut Faltinsen (1990) perhitungan *tension* maksimum tali tambat dapat menggunakan persamaan (2.15)

$$T_{max} = T_h + wh \quad (2.15)$$

dimana :

T_{max} = *tension* maksimum tali tambat (ton)

T_H = horizontal *pre-tension* (ton)

w = berat *chain* di air (ton/m)

h = kedalaman perairan (m)

Menurut *API RP2SK third edition (2005)* *Maximum tension* dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{lfmax} + T_{wfsig} \quad (2.16)$$

$$T_{max} = T_{mean} + T_{wfmax} + T_{lfsig} \quad (2.17)$$

dimana :

T_{max} = *Maximum tension*

T_{mean} = *Maen tension*

T_{wfmax} = *Maximum wave frequency tension*

T_{wfsig} = *Significant wave frequency tension*

T_{lfmax} = *Maximum low frequency tension*

T_{lfsig} = *Significant low frequency tension*

Persamaan diatas dapat diaplikasikan pada kondisi *intact* dan *damage*.

Breaking strength merupakan batasan tegangan maksimum dari *chain line* yang tidak boleh dilampaui, artinya *chain line* tidak boleh memiliki tegangan lebih dari *breaking strength*.

$$BS = CBS (D-2 \Delta t \times T) / D \quad (2.18)$$

dengan :

BS = *breaking strength*

CBS = *catalog breaking strength*

D = *chain diameter*

Δt = *corrosion allowance*

T = *service time*

Menurut *API RP 2T* untuk *unity check* tidak boleh melebihi nilai satu. Secara matematis persamaan *unity check* dapat dituliskan sebagai berikut :

$$UC = \frac{\sigma_n \times SF}{\sigma_y} < 1 \quad (2.19)$$

dengan :

UC = *Unity check*

σ_n = *tegangan nominal*

σ_y = *tegangan yield material*

Sedangkan kondisi batas tegangan ijin didapat dengan membagi *yield strength* dengan *safety factor*.

$$\frac{1}{SF} = \frac{\sigma_n}{BS} \quad (2.10)$$

dengan syarat $\sigma_n < \sigma_n$, dengan :

σ_{ijin} = *tegangan ijin*

SF = *Safety factor*

Batas dari *tension* dan *safety factor* untuk kondisi analisis *mooring* adalah dapat dilihat pada Tabel 2.2 (API RP2SK 3rd edition) :

Tabel 2.2 Kriteria *tension limit* dan *safety factor* pada *mooring*

| Condition | Percent of Breaking Strength (Tension Limit) | Safety Factor |
|--------------|---|---------------|
| Intact (ULS) | 60 | > 1,67 |
| Damage (ALS) | 80 | > 1,25 |

2.2.8 Simpangan (*Offset*)

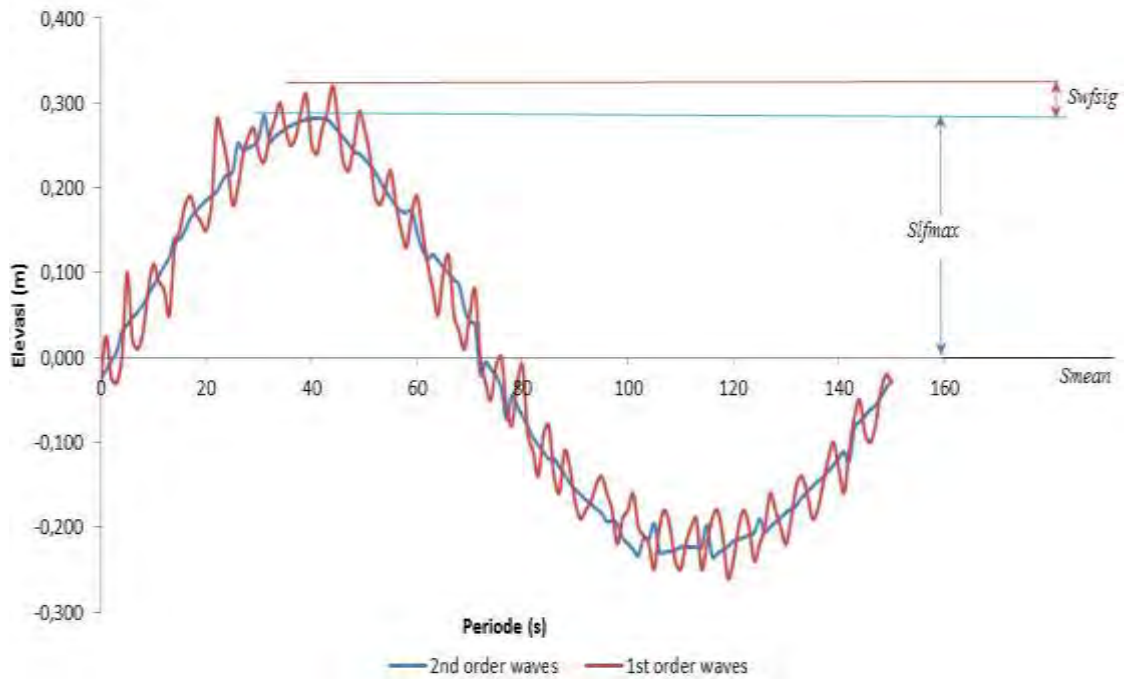
Offset adalah perpindahan posisi pada FLNG dengan jarak sejauh x meter setelah terkena gelombang dan merupakan salah satu bentuk respon dari FLNG saat mendapatkan beban lingkungan. *Offset* dibedakan menjadi beberapa kelompok, yaitu:

a. *Mean Offset*

Displacement dari vessel karena kombinasi dari pengaruh beban arus, *mean wave drift* dan angin .

b. *Maximum offset*

Maximum offset merupakan hasil dari *mean offset* yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang. Pada dasarnya kombinasi frekuensi gelombang yang terjadi adalah gabungan dari gerakan *wave-frequency* dan *low-frequency* struktur terapung seperti pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Penjelasan maksimum *offset*

Offset maksimum ditentukan dengan prosedur yang dijelaskan dalam persamaan (2.11) dan (2.12) yang telah mengakomodasi nilai rata-rata dari seluruh data *time history*, nilai signifikan dan maksimum dari *low frequency* juga nilai signifikan dan maksimum dari *wave frequency*. Persamaan tersebut didapatkan dari API RP 2SK:

1. $S_{lfmax} > S_{wfmax}$, maka:

$$S_{max} = S_{mean} + S_{lfmax} + S_{wfsig} \quad (2.11)$$

2. $S_{wfmax} > S_{lfmax}$, maka: (2.12)

$$S_{max} = S_{mean} + S_{wfmax} + S_{lfsig}$$

Dengan:

S_{mean} = mean vessel offset

S_{max} = maximum vessel offset

| | |
|-------------|--|
| S_{wfmax} | = <i>maximum wave frequency motion</i> |
| S_{wfsig} | = <i>significant wave frequency motion</i> |
| S_{lfmax} | = <i>maximun low-frequency motion</i> |
| S_{lfsig} | = <i>significant low-frequency motion</i> |

Alternatif lain yang dapat digunakan dengan menggunakan *time domain*, *frequency domain*, kombinasi keduanya atau *model testing*. *Mean offset* yang diijinkan adalah 2% sampai 4% dari kedalaman perairan sedangkan untuk *maximum offset* dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kedalaman perairan, lingkungan, dan sistem *riser*. Tetapi pada umumnya pada range 8% sampai 12% dari kedalaman perairan.

2.2.9 Karakteristik Gerak Kondisi Tertambat

Perhitungan karakteristik gerak FLNG dalam kondisi tertambat dilakukan secara dengan persamaan yang terpisah untuk *1st order high frequency motion* dan *2nd order low frequency motion* sesuai dengan persamaan 2.13 hingga 2.16.

Liu dan Miao (1987) telah merumuskan persamaan perhitungan karakteristik gerak kondisi tertambat terhadap pengaruh *1st order high frequency motion* seperti yang tertera dalam persamaan 2.13

$$(M_{ij} + \mu_{ij}) \ddot{x}_j^{(l)} + \int_0^\infty K_{ij}(\tau) \dot{x}_j^{(l)}(t - \tau) d\tau + C_{ij} \dot{x}_j^{(l)} = F_i^{moor} + F_i^{wave(l)} \quad (2.13)$$

$$i = 1, 2, \dots, 6, j = 1, 2, \dots, 6$$

dimana:

$$x_i^{(l)} = \text{wave frequency motion}$$

$$F^{wave(l)} = \text{first order wave force}$$

$$F^{moor} = \text{mooring force}$$

$$M = \text{inertia matrix FPSO}$$

Sementara itu Wichers (1988) telah merumuskan persamaan perhitungan karakteristik gerak kondisi tertambat terhadap pengaruh *2nd order low frequency motion* seperti yang tertera dalam persamaan 2.14 hingga 2.16.

$$(m+\mu_{11}) \ddot{x}_1^{(2)} + \mu_{12} \ddot{x}_2^{(2)} + \mu_{16} \ddot{x}_6^{(2)} + (B_{11} + B_{wdd}) \dot{x}_1^{(2)} = F_1^{wind} + F_1^{current} + F_1^{wave(2)} + F_1^{moor} \quad (2.14)$$

$$\mu_{21} \ddot{x}_1^{(2)} + (m+\mu_{22}) \ddot{x}_2^{(2)} + \mu_{26} \ddot{x}_6^{(2)} + B_{22} \dot{x}_2^{(2)} = F_2^{wind} + F_2^{current} + F_2^{wave(2)} + F_2^{moor} \quad (2.15)$$

$$\mu_{61} \ddot{x}_1^{(2)} + \mu_{62} \ddot{x}_2^{(2)} + (I+\mu_{66}) \ddot{x}_6^{(2)} + B_{66} \dot{x}_6^{(2)} = F_6^{wind} + F_6^{current} + F_6^{wave(2)} + F_6^{moor} \quad (2.16)$$

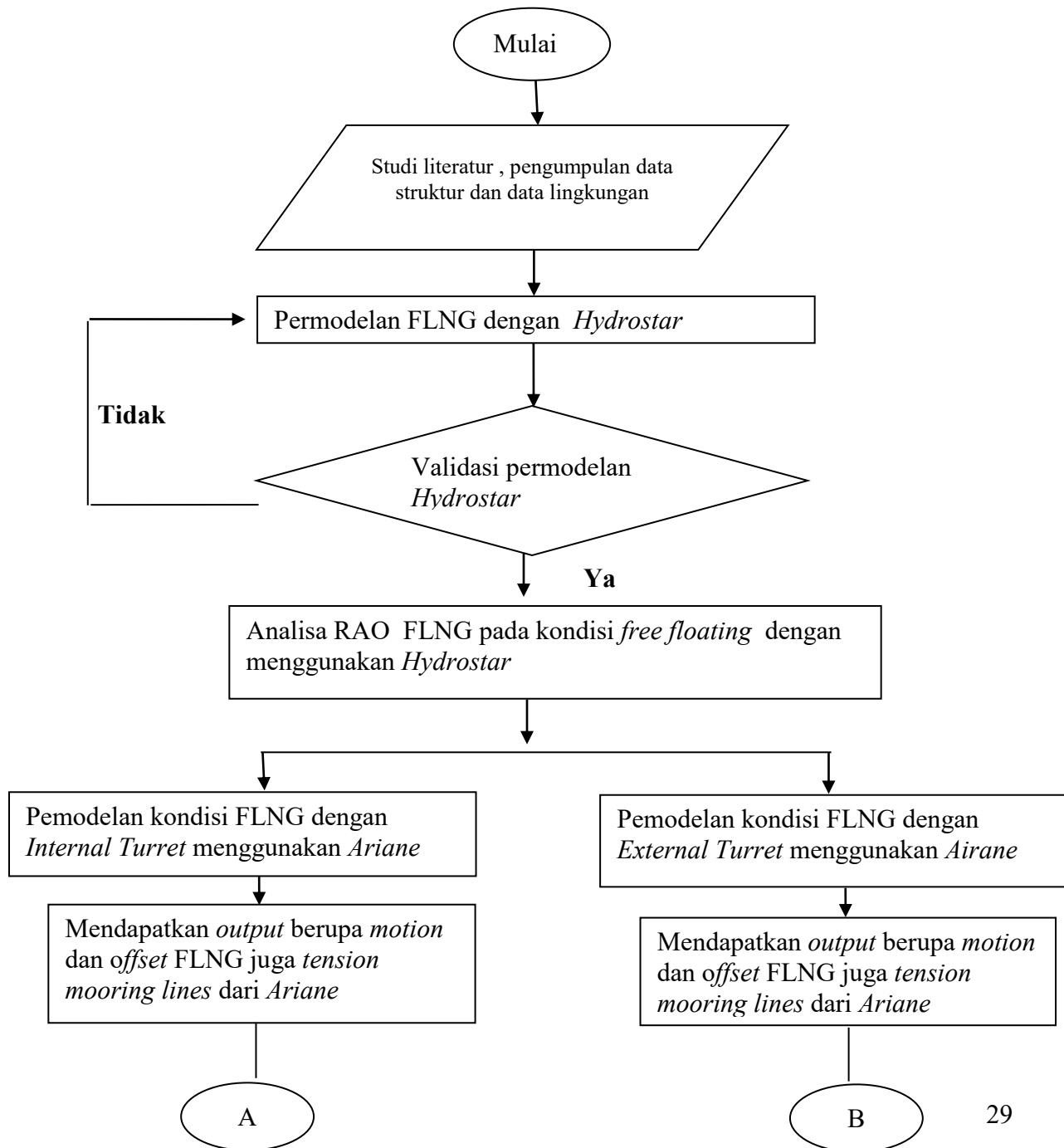
dimana:

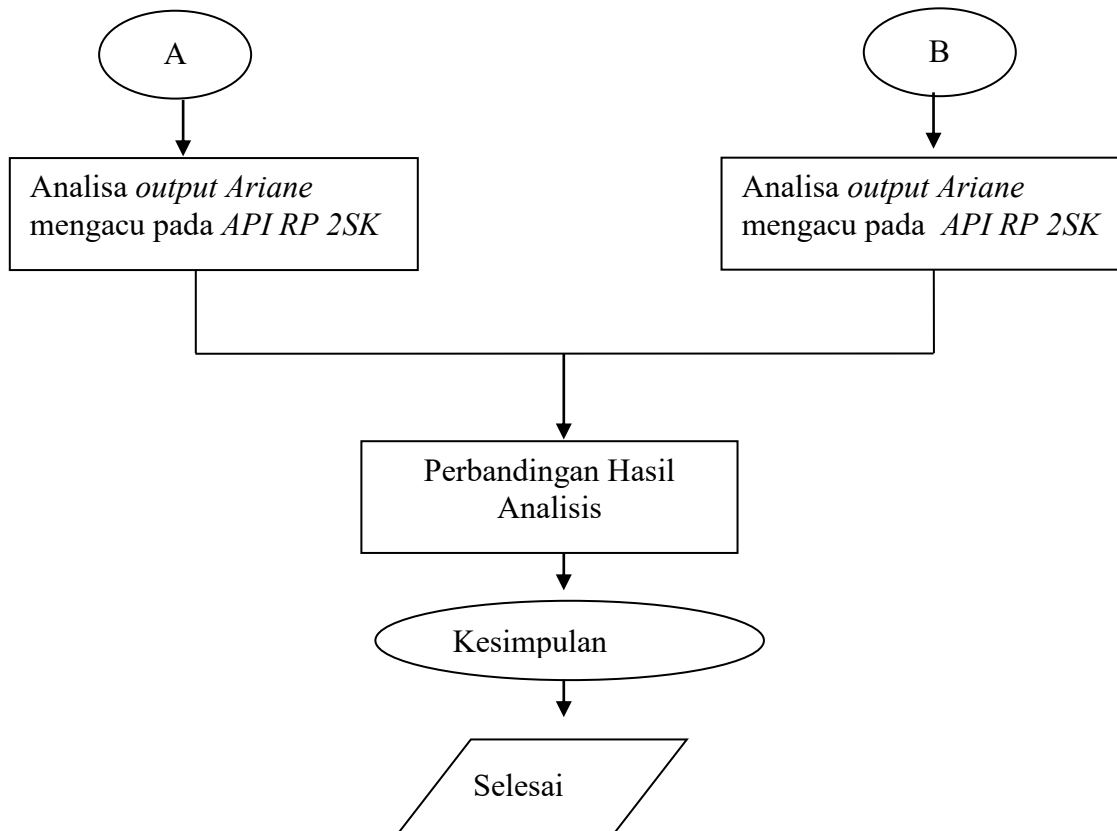
| | |
|--------------------------|--|
| $x^{(2)}$ | = <i>low frequency motion</i> |
| B_{11}, B_{22}, B_{33} | = koefisien <i>damping</i> |
| B_{wdd} | = koefisien <i>wave drift damping</i> arah sumbu-x |
| $F_i^{current}$ | = <i>current force</i> |
| F_i^{wind} | = <i>wind force</i> |
| F_i^{moor} | = <i>mooring force</i> |
| $F_i^{wave(2)}$ | = <i>second order wave drift force</i> |

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Skema Diagram Alir

Metoda yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah pemodelan dengan menggunakan metoda numerik. Urutan langkah-langkah yang dilakukan dapat dilihat berdasarkan diagram alir pada Gambar 3.1 :





Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

Metode yang dipakai dalam analisa dinamis pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode numerik, dimana pemodelan struktur FLNG dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Hydrostar* dan pemodelan dan analisa *mooring system* akan menggunakan *software Ariane*.

3.2.1 Studi Literatur

Langkah pertama dalam prosedur pengerjaan tugas akhir ini adalah studi literatur. Studi literatur bertujuan untuk mengetahui lebih banyak informasi mengenai *FLNG*, sistem *mooring* baik itu *internal turret* ataupun *external turret* meliputi penelitian yang telah dilakukan, pengumpulan data lingkungan meliputi gelombang, arus, dan angin yang nantinya akan digunakan sebagai masukan beban lingkungan.

3.2.2 Pemodelan Struktur dan kondisi lingkungan

Pemodelan struktur FLNG dimodelkan dengan *software Hydrostar*, setelah itu untuk permodelan *internal turret mooring system* dan *external turret mooring system* akan menggunakan *software Ariane8*

3.2.3 Validasi

Model struktur yang sudah dimodelkan harus diperiksa kesesuaiannya dengan data struktur sesungguhnya. Struktur yang diperiksa kesesuaiannya adalah FLNG dengan parameter *displacement* dan parameter penting lainnya sesuai dengan kriteria dari *American Beureau of Shipping (ABS)*.

3.2.4 Analisa RAO FLNG pada saat *free floating*

Setelah validasi permodelan dilakukan dan hasilnya telah mendekati data lapangan, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa RAO FLNG pada saat kondisi *free floating* dengan menggunakan *software Hydrostar*.

3.2.5 Permodelan FLNG dan *turret mooring system*

Pada tahap ini dilakukan permodelan FLNG pada saat tertambat dengan menggunakan *turret mooring system*. Pada tahap ini akan dilakukan dua kali permodelan yaitu pada saat FLNG dengan *internal turret mooring system* dan pada saat FLNG dengan *external turret mooring system*. Semua permodelan pada tahap ini akan menggunakan *software Ariane*.

3.2.6 Mendapatkan *output* dari *software Ariane8*.

Setelah dilakukan permodelan FLNG pada saat sistem tertambat, kita dapat melakukan *running time domain analysis* dengan menggunakan *software Ariane*. Pada tahap ini kita akan mendapatkan *output* berupa perilaku gerak FLNG pada saat tertambat, *offset* dan *tension mooring lines*.

3.2.7 Analisa *output* dengan API RP2SK

Setelah mendapatkan *output time domain analysis* dengan menggunakan *software Ariane* berupa perilaku gerak dan *offset* FLNG kita dapat melakukan

pengecekan batas *offset* maksimum dari *offset* yang tertera pada *API RP 2SK*. Selain mendapatkan kedua *ouput* tersebut, kita juga dapat mengetahui besarnya nilai *tension* dari masing-masing *mooring lines* yang digunakan. Nilai *tension* yang terbesar akan digunakan untuk pengecekan *safety factor* yang tertera pada *API RP2SK*.

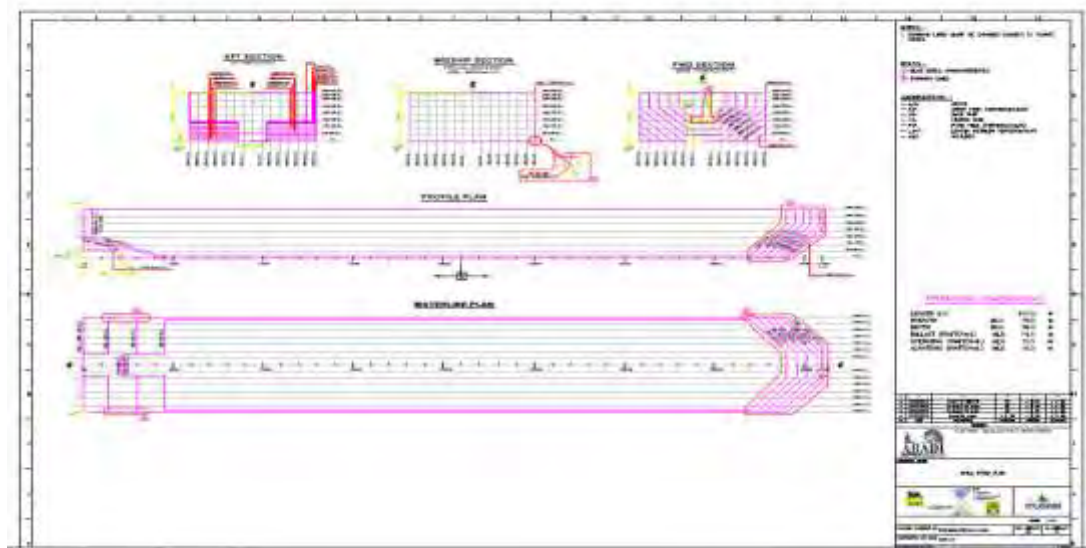
3.3 Pengumpulan Data

3.3.1 Pengumpulan Data Struktur

Data-data struktural yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang berkenaan dengan FLNG dan *mooring lines*. FLNG yang dipakai pada penelitian ini adalah FLNG Masela yang mempunyai *principle dimension* seperti yang tertera pada Tabel 3.1, selebihnya untuk gambaran umum mengenai bentuk *hull* kapal, *bow* kapal, dan *stern* kapal dapat dilihat lebih lanjut di *General Arrangement* FLNG Masela pada Gambar 3.2. Sistem tambat yang digunakan pada FLNG Masela untuk penelitian ini adalah tipe *turret mooring system* dengan jenis *internal turret mooring system* dan *external turret mooring system*. Konfigurasi yang digunakan untuk *mooring lines* pada *turret mooring system* FLNG Masela adalah tipe *grouping mooring lines* seperti yang tertera pada Gambar 3.3.

Tabel 3.1 *Principle dimension* dari FLNG Masela (Saipem,2011)

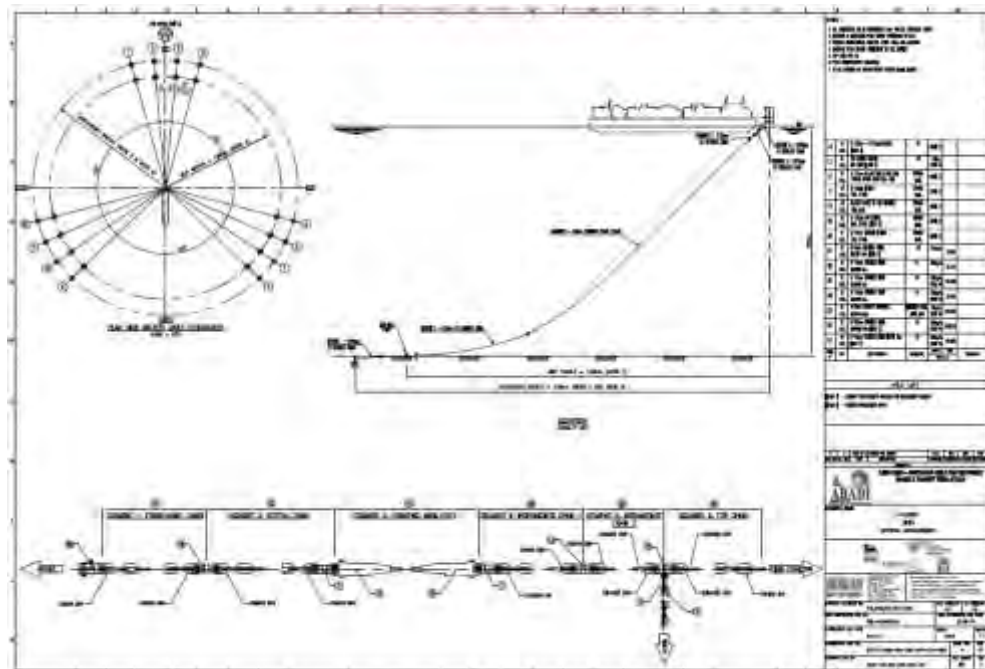
| Deskripsi | Simbol | Satuan | Kuantitas |
|--------------------------------|------------|--------|-----------|
| <i>Length (Overall)</i> | <i>Loa</i> | m | 420 |
| <i>Moulded Breadth</i> | <i>B</i> | m | 70 |
| <i>Moulded depth</i> | <i>H</i> | m | 36 |
| <i>Draught (designed load)</i> | $T_{(L)}$ | m | 15,5 |
| <i>Draught (ballast)</i> | $T_{(B)}$ | m | 14,5 |
| <i>Displacement</i> | | ton | 424915 |



Gambar 3.2 *Principle dimension* dari FLNG Masela (Saipem,2011)

3.3.2 Mooring Properties

Pada Gambar 3.3 ditampilkan *mooring properties* pada *turret mooring system* FLNG Masela yang terdiri dari jumlah *lines*, konfigurasi *turret mooring system* dan informasi *properties* dari setiap segmentasi *mooring lines*.



Gambar 3.3 *Principle dimension* dari FLNG Masela (Saipem,2011)

Dari (Gambar 3.3) kita dapat lihat bahwa konfigurasi *mooring lines* yang digunakan pada *turret mooring system* FLNG Masela adalah tipe *grouping lines*. Tipe *grouping lines* adalah salah satu tipe konfigurasi *mooring lines* yang dapat mengakomodasi beberapa *mooring lines* dan *anchor* pada satu *fairleads* yang sama. Dalam penelitian ini *turret mooring system* menggunakan tipe *grouping lines* dengan 3 *fairleads* dimana setiap *fairleads* mengakomodasi 4 *mooring lines* dan *anchor*. FLNG Masela *turret mooring system* memiliki sejumlah 12 *lines* yang terbagi dalam tiga *grouping lines*, sudut antara tiap *group lines* adalah 120° dan sudut antara *lines* dalam satu *group lines* adalah 10°. Setiap *mooring lines* terdiri dari 3 segmen, pada bagian *bottom chain* dan *top chain mooring lines* memiliki material *properties* yang sama sementara di bagian tengah *mooring lines* adalah tipe *wire rope*. Spesifikasi dari *material properties* tiap segmen *mooring lines* dapat dilihat pada Tabel 3.2:

Tabel 3.2 Spesifikasi segmen pada *mooring lines* (Saipem, 2011)

| <i>Bottom Chain / Top Chain</i> | | Wire Rope | |
|---------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------|
| Diameter | 122 [mm] | Diameter ^[5] | 98 [mm] |
| Type | Studless [-] | Type | SRP 2plus [-] |
| Grade | R3 [-] | Grade | [-] |
| Weigth in air | 298 [kg/m] | Weigth in air | 54 [kg/m] |
| Weigth in water | 259 [kg/m] | Weigth in water | 43 [kg/m] |
| EA | 1262 [MN] | EA | 954 [MN] |
| MBL New | 11365 [kN] | MBL New | 9457 [kN] |
| MBL Corroded ^[4] | 9650 [kN] | MBL Corroded ^[4] | 9457 [kN] |
| <u>Notes:</u> | | | |
| (4) : 12 mm of wear/corrosion | | (5) : Excluding sheating | |

3.3.3 Data Lingkungan

Kondisi lingkungan tempat beroperasinya bangunan lepas pantai sangat mempengaruhi kinerja struktur, baik dalam segi operabilitas maupun keamanan. Sehingga kebutuhan adanya data lingkungan dalam melakukan analisis pada bangunan lepas pantai adalah sebuah hal yang sangat penting untuk meninjau kinerja bangunan lepas pantai tersebut ketika proses instalasi dan operasi. Tempat FLNG ini beroperasi adalah di perairan Laut Timor yang memiliki kedalaman air sekitar 600 meter, tepatnya di blok Masela yang terletak sekitar 400 km sebelah utara Kota Darwin, Australia, dan kurang lebih 150 km sebelah barat daya Pulau Tanimbar. Blok Masela berada di sebelah selatan Selat Timor. Detail lokasi sementara (secara tentatif) dapat dilihat di Tabel 3.3 dan 3.4:

Tabel 3.3 Detail Lokasi Blok Masela

| Lokasi | Blok Masela |
|--------------|----------------|
| Latitudinal | 09° 07' 51''S |
| Longitudinal | 130° 28' 00''E |

Tabel 3.4 Parameter *met-ocean* kondisi lingkungan Masela 200 tahun

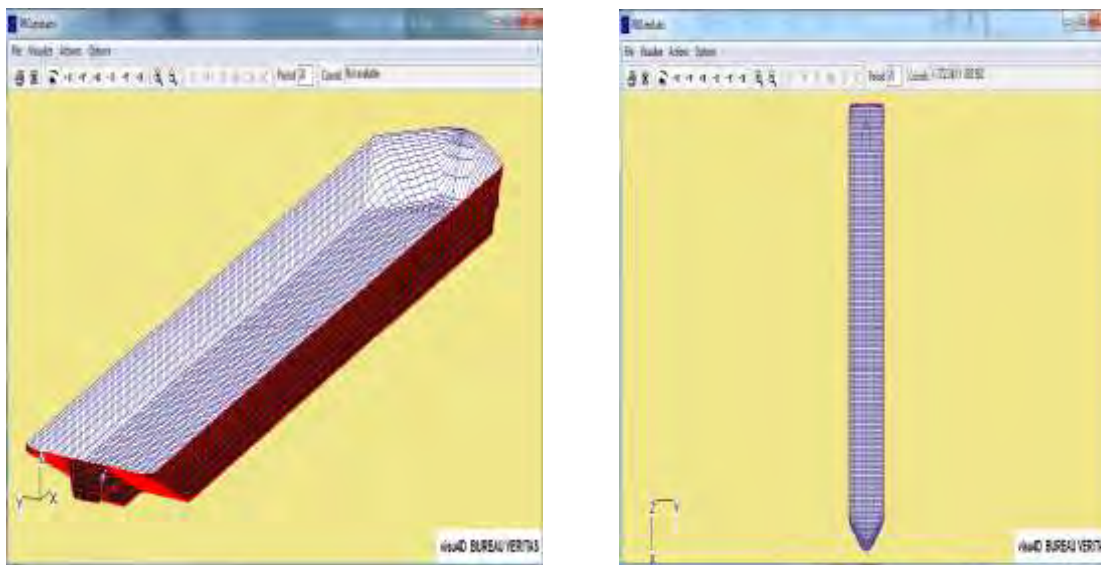
| <i>Intensity Parameter</i> | <i>Unit</i> | <i>Wind Peak</i> | <i>Wave Peak</i> | <i>Current Peak</i> |
|----------------------------|-------------|------------------|------------------|---------------------|
| Vw | (m/s) | 24,37 | 24,37 | 23,48 |
| Hs | (m) | 7,07 | 7,28 | 6,46 |
| Tp | (s) | 10,6 | 10,74 | 10,17 |
| γ | (-) | 1,35 | 1,36 | 1,32 |
| Vc | (m/s) | 1,29 | 1,08 | 1,39 |

BAB IV

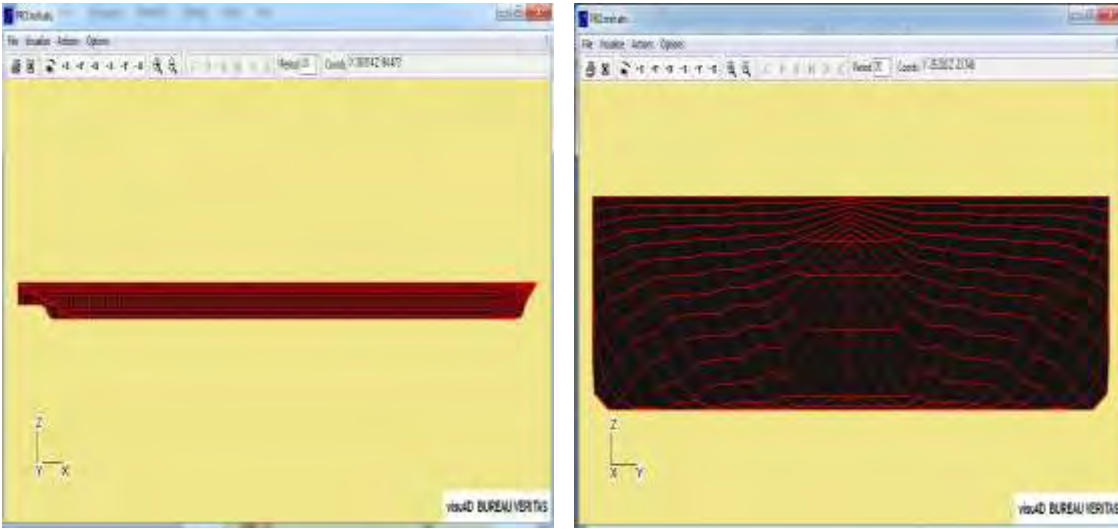
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur FLNG

Pemodelan struktur FLNG *free floating* yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah dengan menggunakan bantuan *software Hydrostar V.7.23* dari *Bureau Veritas*. Tujuan dari permodelan FLNG ini adalah untuk mendapatkan *lines plan* pada kapal, bentuk geometri dan karakteristik hidrostatik pada kapal. Langkah awal dalam pemodelan ini dilakukan deskripsi titik-titik koordinat FLNG dan *principal dimension* dengan mengacu pada *General Arrangement (GA)* dan data-data lainnya yang tersedia. Hasil permodelan FLNG yang dilakukan dengan bantuan *software Hydrostar V.7.23* dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Model FLNG pada *Hydrostar* dilihat dari beberapa sisi : tampak isometri (gambar kiri), tampak atas (gambar kanan)



(c)

(d)

Gambar 4.2 Model FLNG pada *Hydrostar* dilihat dari beberapa sisi : tampak samping (gambar kiri), tampak depan (gambar kanan)

Dari Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 sudah terlihat bentuk geometri kapal FLNG Masela termasuk *hull* kapal, *bow* kapal dan *stern* kapal. Sebelum melanjutkan ke dalam tahap analisis, pemodelan FLNG yang dilakukan pada *software Hydrostar V.7.23* harus divalidasi terlebih dahulu untuk mengetahui apakah FLNG tersebut sesuai dengan kondisi yang sebenarnya sehingga layak untuk digunakan dalam analisis-analisis selanjutnya. Kriteria validasi yang digunakan mengacu pada *American Bureau of Shipping (ABS)* pada bagian Mobile Offshore Drilling Unit (MODU) dimana untuk validasi *displacement* nilai toleransi *error* perbedaan hasil karakteristik hidrostatik dan geometri dari permodelan *software* dan data asil bernilai 2% dan ketentuan lainnya bernilai maksimum 1%. Ketika melakukan permodelan struktur FLNG pada *Hydrostar V7.23*, harus dilakukan perhitungan nilai-nilai karakteristik hidrostatik pada model sturktur FLNG.

Tahapan ini dilakukan untuk mendapatkan nilai-nilai *Added mass*, *Damping coefficient*, *RAO*, dan juga *First order wave load* yang bekerja pada

FLNG pada setiap arah datang pembebanan. Perintah yang pakai untuk menghitung properti hidrostatik maupun hidrodinamik pada *Hydrostar* diantaranya:

- *Hstat* : Perintah untuk menghitung properti hidrostatik pada *body*
- *Hsmcn* : Perintah untuk menghitung properti mekanik dari *body*
- *Hsrdf* : Perintah untuk melakukan perhitungan *Radiation-diffraction computation*
- *Hsdft* : Perintah untuk menghitung *wave drift force* pada *body*
- *Hsdft* : Perintah untuk menghitung *wave drift force* pada *body*

Berikut ini merupakan hasil validasi permodelan FLNG kondisi *full load* ditunjukkan pada Tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Validasi permodelan FLNG Masela pada *Hydrostar*

| | Satuan | Model | | Koreksi (%) |
|--|--------|---------|-----------|-------------|
| | | Data | HydroSTAR | |
| <i>Displacement</i> | ton | 424915 | 428720 | -0,895 |
| LOA | m | 420 | 420 | 0,000 |
| LWL | m | 410 | 410 | 0,000 |
| LPP | m | 410 | 410 | 0,000 |
| B | m | 70 | 70 | 0,000 |
| T | m | 15,5 | 15,5 | 0,000 |
| LCG | m | 207 | 205 | 0,966 |
| LCB | m | 204 | 204 | 0,000 |
| KG | m | 25,49 | 25,49 | 0,000 |
| <i>Keel to Metacenter Transversal (KMT)</i> | meter | 35,813 | 35,59 | 0,623 |
| <i>Keel to Metacenter Longitudinal (KML)</i> | meter | 924,23 | 915,84 | 0,908 |
| <i>Buoy to Metacenter Transversal (BMT)</i> | meter | 26,032 | 25,975 | 0,219 |
| <i>Buoy to Metacenter Longitudinal (BML)</i> | meter | 861,732 | 856,543 | 0,602 |

Berdasarkan hasil validasi di atas dapat diambil kesimpulan bahwa model FLNG layak digunakan dalam analisis-analisis selanjutnya.

4.2 Skenario Analisis Karakteristik Gerak Struktur

Sebelum memasuki tahap analisis karakteristik gerak struktur bangunan apung terlebih dahulu dijelaskan skenario analisis yang terdiri dari skenario muatan FLNG dan skenario jarak *turret mooring system* dari bagian FP FLNG.

Skenario analisis *internal turret mooring system* :

- a. FLNG kondisi muatan *full load* dengan jarak *turret mooring system* sebesar 26 m dibelakang FP, beban lingkungan dalam kondisi *collinear*.
- b. FLNG kondisi muatan *full load* dengan jarak *turret mooring system* sebesar 26 m dibelakang FP, beban lingkungan dalam kondisi *non-collinear*.
- c. FLNG kondisi muatan *full load* dengan jarak *turret mooring system* sebesar 51,25m dibelakang FP (12,5% Lpp), beban lingkungan kondisi *non-collinear*.
- d. FLNG kondisi muatan *full load* dengan jarak *turret mooring system* sebesar 71,75 dibelakang FP (17,5% Lpp), beban lingkungan kondisi *non-collinear*.

Skenario analisis *external turret mooring system* :

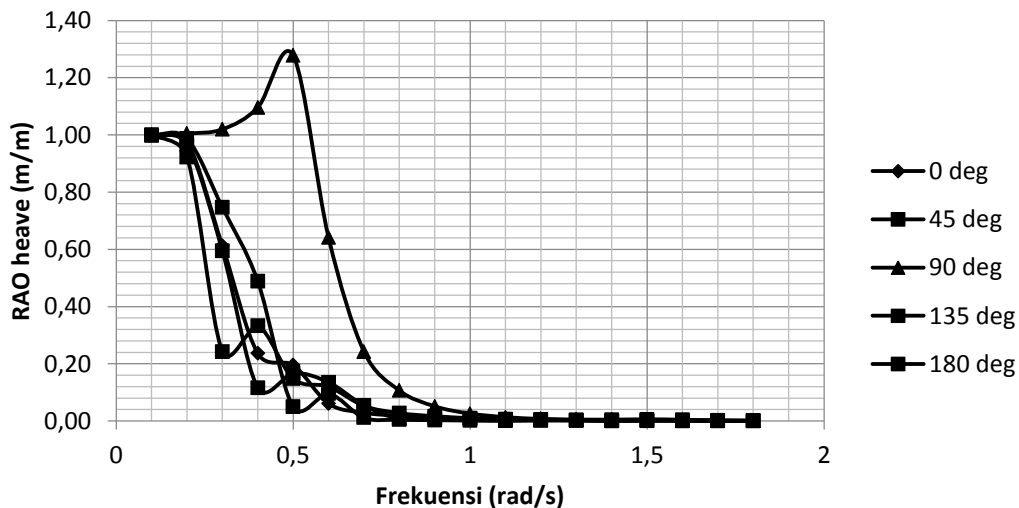
- a. FLNG kondisi muatan *full load* dengan jarak *turret mooring system* sebesar 26 didepan FP, beban lingkungan dalam kondisi *collinear*.
- b. FLNG kondisi muatan *ballast* dengan jarak *turret mooring system* sebesar 26 m didepan FP, beban lingkungan dalam kondisi *non-collinear*.
- c. FLNG kondisi muatan *full load* dengan jarak *turret mooring system* sebesar 51,25 m didepan FP (12,5% Lpp), beban lingkungan kondisi *non-collinear*.
- d. FLNG kondisi muatan *full load* dengan jarak *turret mooring system* sebesar 71,75 didepan FP (17,5% Lpp), beban lingkungan kondisi *non-collinear*.

Variasi beban lingkungan tersebut akan mempengaruhi nilai gaya yang akan diterima oleh setiap mooring lines pada kedua tipe *turret* tersebut, sementara variasi jarak *turret mooring system* akan berpengaruh pada nilai *anchor radius* dari setiap *mooring lines*.

4.3 Analisa Perilaku Gerak FLNG pada Gelombang Reguler Kondisi Terapung Bebas (*Free Floating*)

Analisis perilaku gerak FLNG pada gelombang reguler yang dilakukan dengan *software Hydrostar V.7.25* akan menghasilkan RAO (*Response Amplitude Operator*) untuk arah pembebanan yang ditinjau, yakni 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 dan 180^0 . RAO tersebut dijabarkan dalam gerakan enam derajat kebebasan (*six degrees of freedom*) *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Data RAO ini menunjukkan karakteristik perilaku gerak FLNG saat terapung bebas (*free floating*) pada gelombang reguler. Grafik fungsi transfer/RAO akan disajikan dengan absis (sumbu-x) berupa *wave frequency* (rad/s) dan sumbu-y berupa besar RAO (m/m, untuk gerakan translasional dan *deg/m*, untuk gerakan rotasional). Grafik dan penjelasan akan diklasifikasikan sesuai kondisi muatan yang ditinjau, dimana dalam satu grafik gerakan akan diperlihatkan RAO untuk setiap arah pembebanannya. Hasil analisis perilaku gerak FLNG pada gelombang reguler untuk kondisi terapung bebas (*free floating*) dapat dilihat pada Gambar 4.3 hingga 4.9.

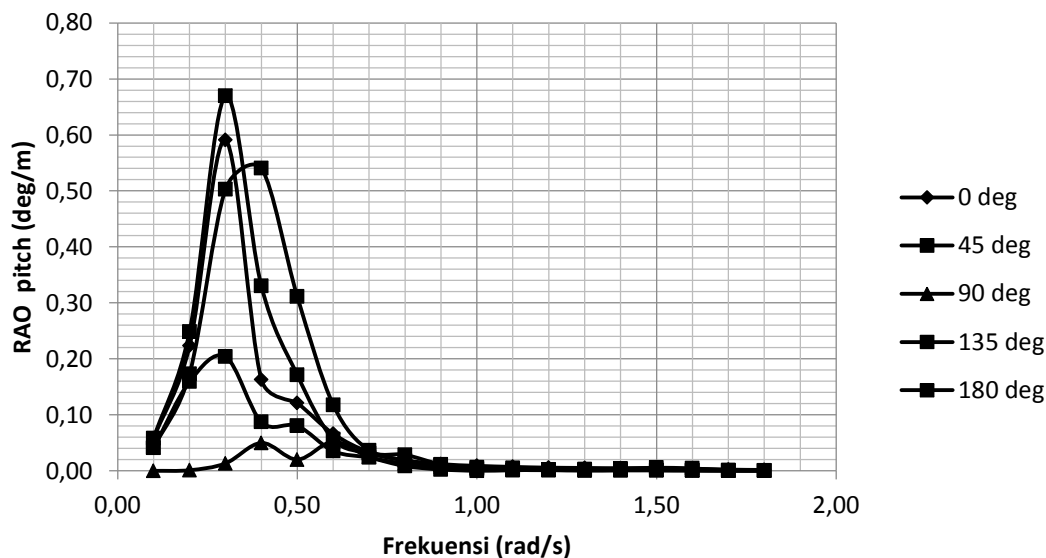
- RAO gerakan *Heave*



Gambar 4.3 Grafik RAO gerakan *heave*

Gerakan *heave* merupakan salah satu pola gerakan vertikal bangunan apung. Seperti pada Gambar 4.3 bahwa semakin kecil frekuensi maka nilai RAO akan mendekati 1 atau lebih kecil dari 1, yang berarti bahwa perilaku struktur akibat adanya gelombang hampir tidak ada dan bahkan mengecil. Kemudian grafik secara bertahap naik sampai mencapai puncak (resonansi) dan menurun lagi sampai mendekati 0. RAO gerakan *heave* memiliki kenaikan tajam pada daerah resonansi terbesarnya yaitu pada gelombang sisi (arah 90°) sebesar 1,277 m/m, terjadi pada frekuensi 0,5 rad/s. Diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) sebesar 0,999 m/m dan 0,999 m/m. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) memberikan efek yang paling kecil sebesar 0,975 m/m dan 0,988 m/m. Semuanya terjadi pada frekuensi 0,2 rad/s. Dapat disimpulkan bahwa pada gelombang sisi (arah 90°) terjadi resonansi yang menyebabkan puncak gelombang pada arah ini tidak berada pada frekuensi yang sama seperti arah datang gelombang lainnya, yaitu pada frekuensi 0,2 rad/s tetapi memiliki perbedaan sendiri, dimana puncaknya terjadi pada frekuensi 0,5 rad/s.

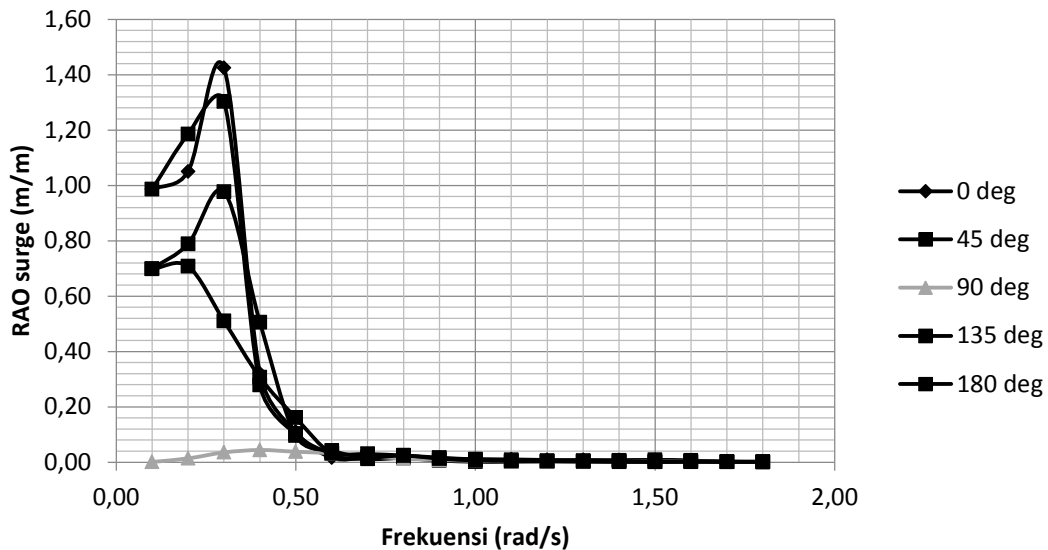
- RAO gerakan *Pitch*



Gambar 4.4 Grafik RAO gerakan *pitch*

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa karakteristik gerakan *pitch* didominasi oleh gelombang arah 0° , 180° dan 135° . Nilai RAO terbesar terjadi pada *heading* 180° derajat dengan nilai sebesar $0,670 \text{ deg/m}$ pada frekuensi $0,3 \text{ rad/s}$. Pada *heading* 0° dan 135° nilai RAO *pitch* terbesar berturut-turut yaitu sebesar $0,591 \text{ deg/m}$ dan $0,503 \text{ deg/m}$, masing-masing terjadi pada frekuensi yang sama yaitu $0,3 \text{ rad/s}$. Nilai RAO yang lebih kecil didapat pada *heading* 45° dengan nilai terbesar $0,204 \text{ deg/m}$ pada nilai frekuensi $0,3 \text{ rad/s}$. Pada *heading* 90° nilai RAO *pitch* tidak begitu signifikan dengan nilai RAO terbesar yaitu $0,052 \text{ rad/s}$.

- RAO gerakan *surge*

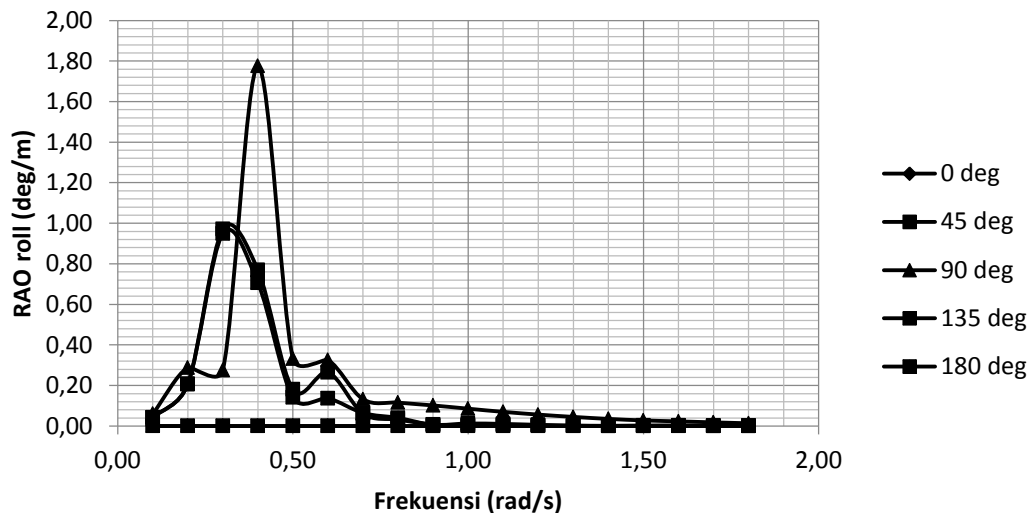


Gambar 4.5 Grafik RAO gerakan *surge*

Gerakan *surge* merupakan salah satu pola gerakan horizontal bangunan apung. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.5 bahwa karakteristik gerakan *surge* didominasi oleh gelombang buritan (*heading* 0°) dengan nilai RAO terbesar bernilai $0,995 \text{ m/m}$ yang terjadi pada frekuensi $0,1 \text{ rad/s}$. Kemudian gelombang haluan (arah 180°) dengan RAO tertinggi sebesar $0,985 \text{ m/m}$ yang terjadi pada frekuensi yang sama $0,1 \text{ rad/s}$. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan *surge* terbesar (resonansi

utama) terjadi pada frekuensi rendah sekitar 0.1 - 0.25 rad/s. Gerakan *surge* pada arah pembebanan 0° dan 180° memiliki RAO yang hampir sama karena bentuk geometri dari FLNG yang hanya sedikit mengalami perubahan antara depan dan belakang. Kemudian diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) dengan RAO tertinggi sebesar 0.699 m/m yang keduanya terjadi pada frekuensi yang sama 0.1 rad/s. Sedangkan gelombang sisi (arah 90°) memberikan efek yang paling kecil dengan RAO tertinggi sebesar 0.018 m/m pada frekuensi 0.6 rad/s, hal ini dikarenakan gelombang arah 90° tidak memiliki pengaruh yang signifikan untuk terjadinya gerakan *surge*.

- RAO gerakan *roll*

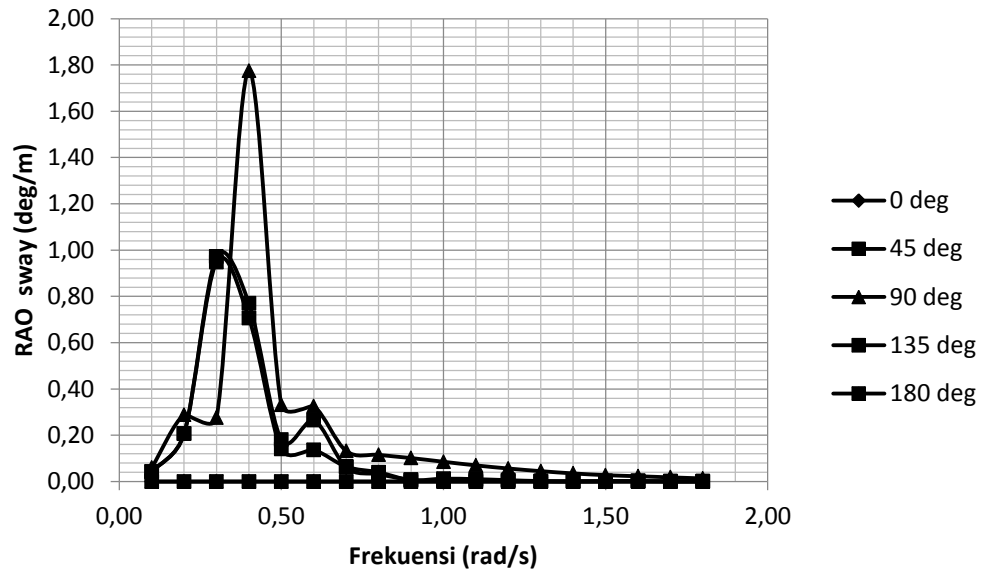


Gambar 4.6 Grafik RAO gerakan *roll*

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa pada daerah subkritis (frekuensi rendah), perilaku gerak *roll* merepresentasikan nilai yang kecil, kemudian naik tajam pada daerah resonansi, dan menurun secara signifikan pada daerah super kritis (frekuensi tinggi). Karakteristik gerakan *roll* akan didominasi oleh gelombang sisi (arah 90°), kemudian gelombang perempat (arah 45° dan 135°). Sedangkan gelombang haluan dan buritan (arah 180° dan 0°) memberikan efek yang paling kecil, seperti pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai RAOnya adalah 0.

RAO gerakan *roll* memiliki kenaikan tajam pada daerah resonansi terbesarnya yaitu pada gelombang sisi (arah 90°) sebesar 1,726 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0,3 rad/s. Diikuti oleh RAO dari gelombang perempat (arah 45° dan 135°) yang memiliki nilai tertinggi yaitu 0,189 deg/m, nilai RAO tersebut terjadi pada frekuensi 0,2 rad/s.

- RAO gerakan *sway*



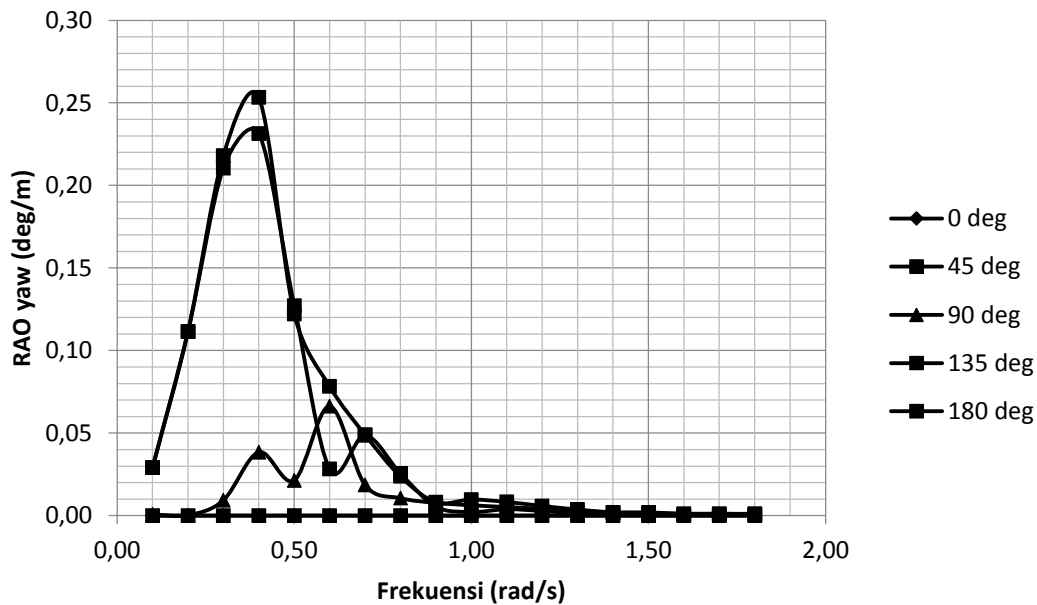
Gambar 4.7 Grafik RAO gerakan *sway*

Gerakan *surge* dan *sway* memiliki karakteristik kurva yang hampir sama, dimana nilai maksimum terjadi pada frekuensi rendah. Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa karakteristik gerakan *sway* didominasi oleh gelombang sisi (arah 90°). Pada gelombang perempat (arah 45° dan 135°) intensitas gerakan sedikit menurun.

Gerakan *sway* secara teoritis tidak akan terjadi pada gelombang buritan ataupun haluan, seperti pada Gambar 4.7, arah 0° dan arah 180° memiliki kurva yang menempel di sumbu-x kurva dan memiliki nilai RAO 0 m/m. RAO gerakan *sway* tertinggi terjadi pada gelombang sisi (arah 90°) yakni sebesar 0,986 m/m. Diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) yang keduanya memiliki nilai RAO yang sama sebesar 0,695 m/m. Semua nilai tertinggi RAO dari masing-masing arah datang

gelombang terjadi pada frekuensi 0,1 rad/s. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) tidak memberikan efek terhadap perilaku gerakan *sway*

- RAO gerakan *yaw*



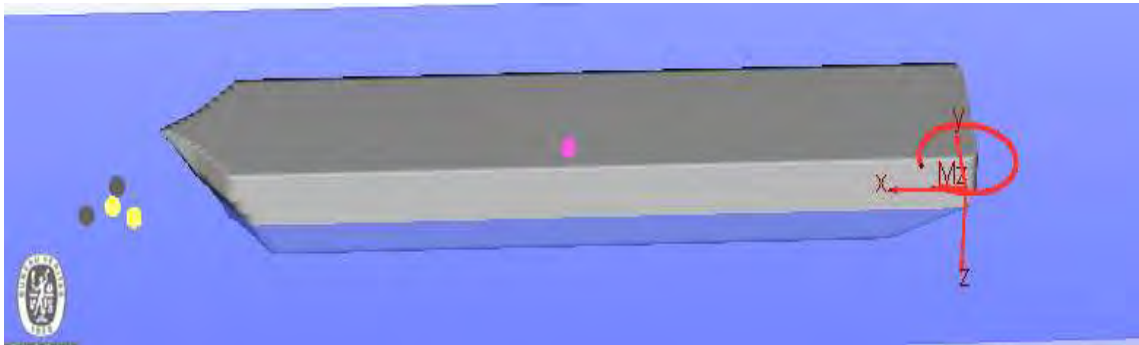
Gambar 4.8 Grafik RAO gerakan *yaw*

Untuk RAO gerakan *yaw* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 memiliki kenaikan pada gelombang perempat haluan (arah 135°) dengan nilai RAO tertinggi sebesar 0,226 deg/m dan gelombang perempat buritan (arah 45°) sebesar 0,225 deg/m, dimana keduanya terjadi pada frekuensi 0,4 rad/s. Diikuti oleh RAO dari arah datang gelombang sisi (arah 90°) sebesar 0,004 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0,8 rad/s. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) tidak memiliki pengaruh terhadap gerakan *yaw* FLNG karena memiliki nilai RAO 0 deg/m pada setiap frekuensi.

4.4 Permodelan FLNG Kondisi Tertambat

Setelah melakukan permodelan FLNG pada kondisi *free floating*, maka selanjutnya dilakukan permodelan FLNG dengan kondisi tertambat dengan menggunakan *software* Ariane 8 sesuai skenario kerja pada sub bab 4.2.

Hal pertama yang harus dilakukan dalam melakukan permodelan struktur bangunan apung pada Ariane pada saat kondisi tertambat adalah dengan *import* hasil permodelan geometri dan *meshing* yang telah dikeluarkan oleh bantuan *software* *Hydrostar* 7.23. Hasil dari permodelan FLNG pada *Ariane8* dapat dilihat pada Gambar 4.9



Gambar 4.9 Permodelan FLNG pada *Ariane8*

Setelah dilakukan permodelan struktur apung pada *Ariane8* langkah selanjutnya adalah mendefinisikan posisi *turret mooring system* dan *fairlead* pada FLNG dengan cara *input* koordinat *posisi turret mooring system* dan *fairlead* dari titik acuan awal permodelan *Ariane8*. Pada penelitian ini titik *turret mooring system* berada pada 26m di depan FP untuk *external turret mooring system* dan 26 m di belakang FP untuk *internal turret mooring system*. Dalam penelitian ini terdapat 3 titik *fairlead* dengan masing-masing sudut 120° pada setiap konfigurasi *turret mooring system*.

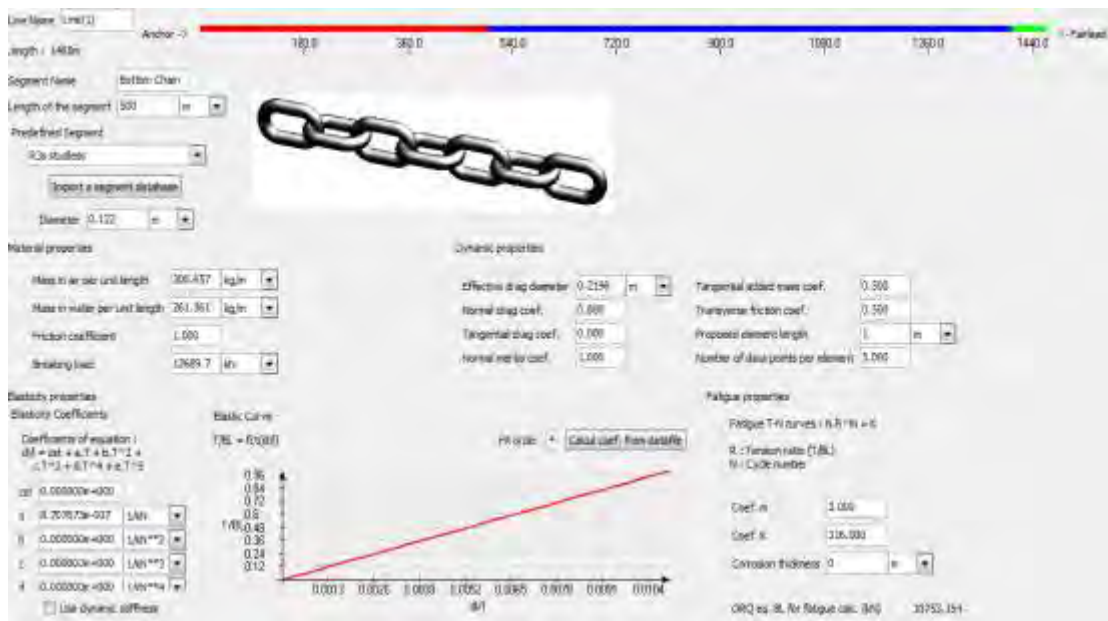
Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan karakteristik hidrostatik pada struktur bangunan apung pada FLNG seperti *Added Mass*, *Damping*, *Stiffness*, *First order Loads*, *RAO*, *Second Order Load (Wave drift)* *Wind coefficient*, *Current Coefficient* dan lain-lain. Seluruh komponen karakteristik hidrostatik ini didapatkan dari output pada *Hydrostar V7.23* dan di-export ke *Ariane8*. Komponen yang diperlukan untuk melakukan *time domain analysis* pada *Ariane8* dapat dilihat pada Gambar 4.10.



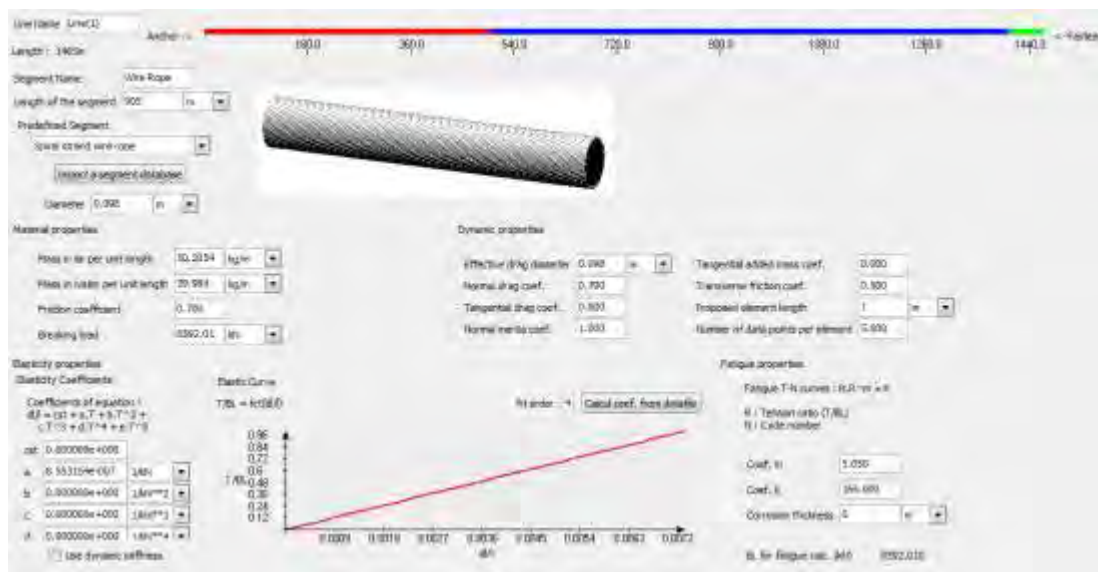
Gambar 4.10 Komponen Hidrostatik FLNG untuk *Ariane8*

Setelah melakukan permodelan geometri dan hidrostatik bangunan struktur apung dilakukan pendefinisian koordinat anchor dan material properties pada tali tambat. Tali yang digunakan pada kedua konfigurasi terdiri dari 12 tali tambat dimana setiap tali tersebut memiliki tiga segmen, yang terdiri dari *Top Chain*, *Wire Rope*, dan *Bottom Chain* dengan spesifikasi segmen yang telah disebutkan pada tabel 3.2. Data *material properties* tersebut disesuaikan dengan direktori *Line Store* yang tersedia dengan modifikasi nilai diameter dan panjang *mooring lines* pada setiap segmen.

Contoh pemilihan segmen *mooring line* dan informasi *material properties* pada *Ariane8* dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan 4.12



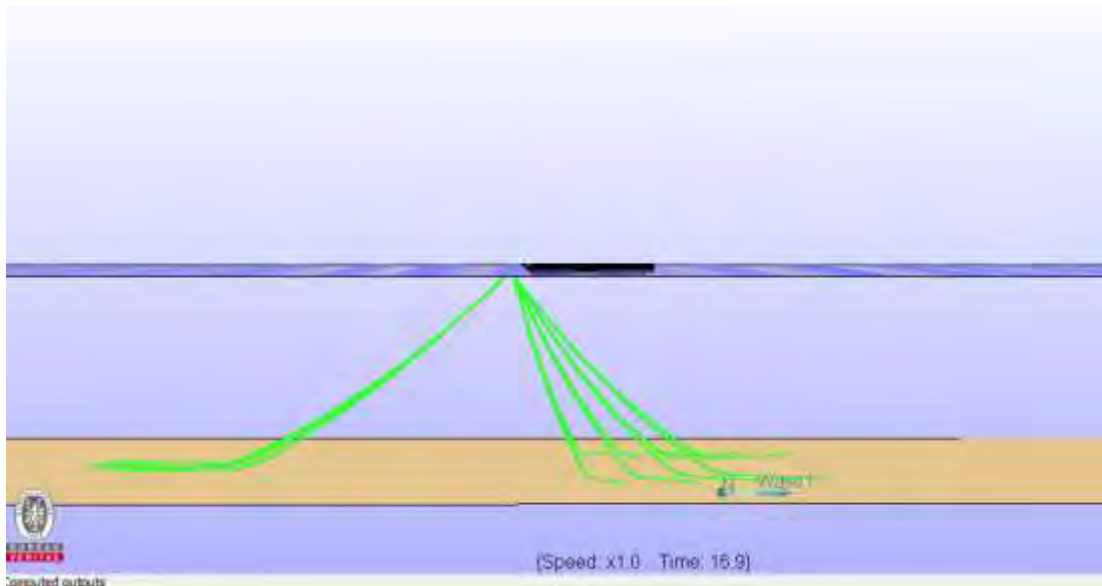
Gambar 4.11 Komponen Hidrostatik FLNG untuk *Ariane8*



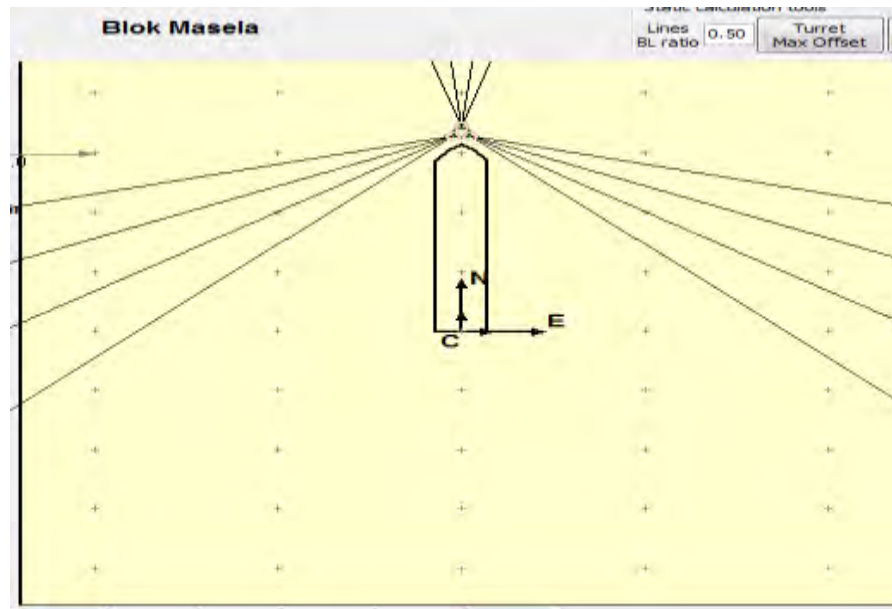
Gambar 4.12 Informasi *material properties* wire rope 0,098 m

Langkah terakhir dalam melakukan permodelan struktur bangunan apung ketika tertambat adalah mendefinisikan titik koordinat *anchor* dan konfigurasi titik tambat *mooring lines* dari *anchor* ke *fairlead* pada *turret mooring system*. Gambaran

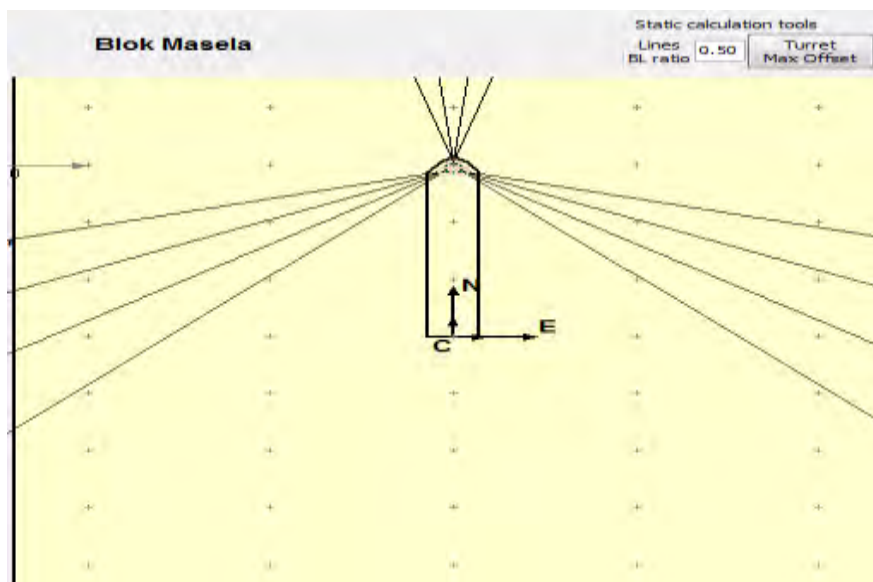
konfigurasi umum *turret mooring system* saat permodelan FLNG kondisi tertambat pada Ariane8 dapat dilihat pada Gambar 4.12, untuk gambaran lebih jelas mengenai permodelan *external turret mooring system* dan *internal turret mooring system* dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan 4.14. Dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa *turret mooring system* yang dimodelkan pada penelitian kali ini termasuk dalam tipe *catenary mooring system*. Tipe *catenary mooring system* adalah tipe mooring yang memiliki konfigurasi tali tambat yang menggantung bebas atau biasa disebut *free hanging lines*. *Mooring lines* terbentang secara horizontal pada dasar permukaan laut sehingga panjang *mooring lines* harus lebih besar nilainya dibandingkan nilai *water depth*.



Gambar 4.13 Konfigurasi umum permodelan *turret mooring system* pada Ariane8



Gambar 4.14 Permodelan *external turret mooring system* 26m pada Ariane8



Gambar 4.15 Permodelan *internal turret mooring system* 26m pada Ariane8

Dari Gambar 4.14 dan 4.15 dapat dilihat bahwa *turret* dimodelkan terhadap titik FP dengan konfigurasi *group mooring lines*. Terdapat 3 *bearings* dimana tiap *bearings* mengakomodasi 4 *mooring lines*.

4.5 Permodelan Beban

Pembebanan yang dilakukan oleh Ariane 8 berupa karakteristik hidrostatik dari FLNG , *pre-tension* pada setiap *mooring lines* dan beban lingkungan. Berikut adalah penjelasan dari beban-beban yang dilakukan dalam penelitian ini :

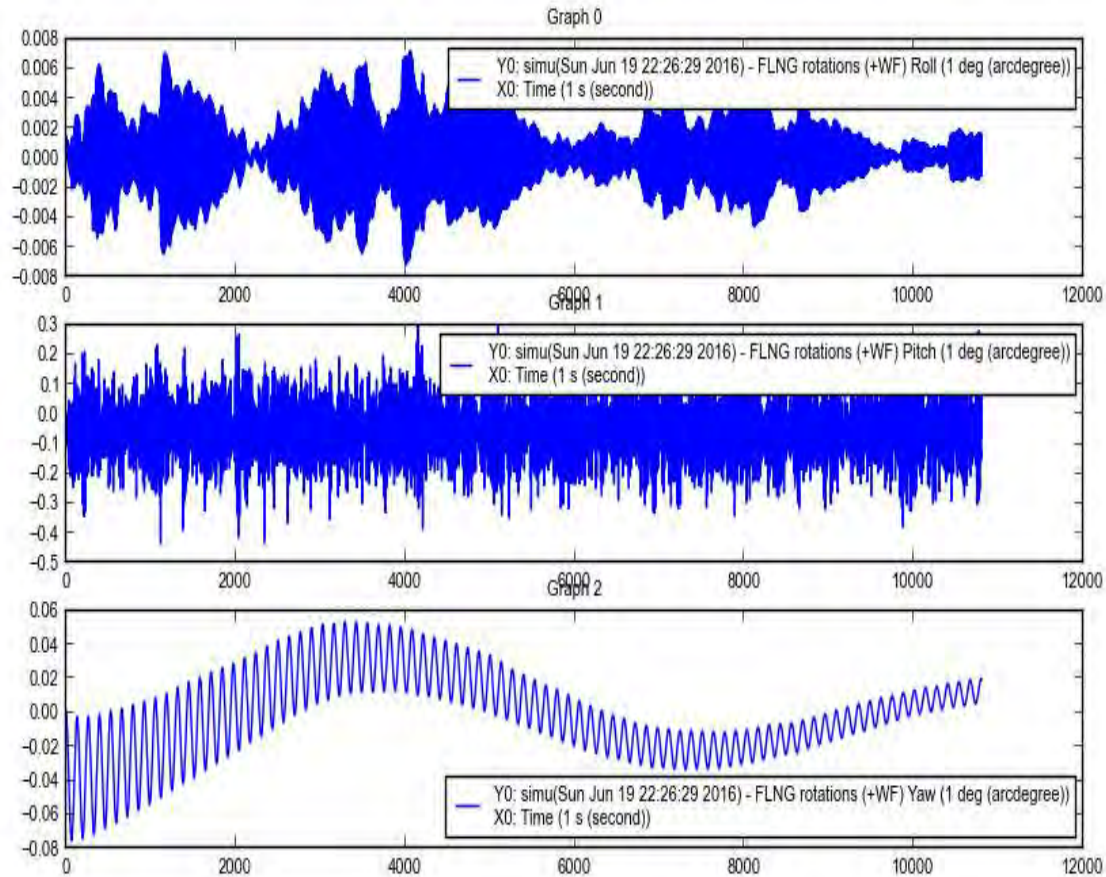
1. Karakteristik hidrostatik FLNG berupa sarat air (*draught*), besar gaya *bouyancy* yang tergantung dari besarnya volume lambung (*hull*) FLNG yang tercelup dalam air dan jari-jari girasi.
2. Besar *pre-tension* yang diberikan pada setiap *line* dipengaruhi oleh *material propeties* dari *mooring lines* tersebut. Berdasarkan API RP 2 SM (2001) dan *ABS Guidance Notes* (1999) besar *pre-tension* yang diberikan adalah minimal 10% dari *minimum breaking load* (MBL). Pada penelitian ini nilai *pre-tension* yang diberikan adalah sebesar 1847 KN untuk kondisi *full load*. Nilai tersebut berkisar 10% dari data *minimum breaking load* (MBL).
3. Parameter beban lingkungan yang dimasukkan dalam perhitungan menggunakan *software* Ariane 8 adalah sebagai berikut :
 - a. Tipe spektrum gelombang yang digunakan adalah spektrum JONSWAP.
 - b. Tinggi gelombang signifikan (H_s)
 - c. Periode gelombang
 - d. Arah datang gelombang (*heading*)
 - e. Kecepatan angin dan arah datang angin
 - f. Kedalaman perairan di lokasi FLNG beroperasi
4. Dalam penelitian ini dilakukan dua tipe pembebanan lingkungan yaitu *collinear* dan *non-collinear*. *Collinear* adalah tipe pembebanan lingkungan dimana beban angin, beban gelombang dan beban arus berada pada arah datang yang sama. Sementara untuk tipe pembebanan *Non-Collinear* adalah tipe pembebanan lingkungan dimana beban angin dan beban arus berada pada arah datang yang sama namun beban gelombang memiliki sudut arah datang 30° dari sudut arah datang beban angin dan beban arus.

Analisis dengan menggunakan *Ariane 8* dapat dilakukan yaitu analisis pergerakan *offset* FLNG dan analisis tegangan (*tension*) yang terjadi pada setiap lines akibat gerakan FLNG pada saat terkena beban lingkungan. Analisis pada penelitian ini dilakukan dengan *time domain analysis* dalam ranah waktu simulasi (*time history*) sesuai dengan waktu yang telah diatur pada DNV-OS-E301 yaitu selama 3 jam.

4.6 Analisa *Motion* pada *FLNG* Kondisi Tertambat

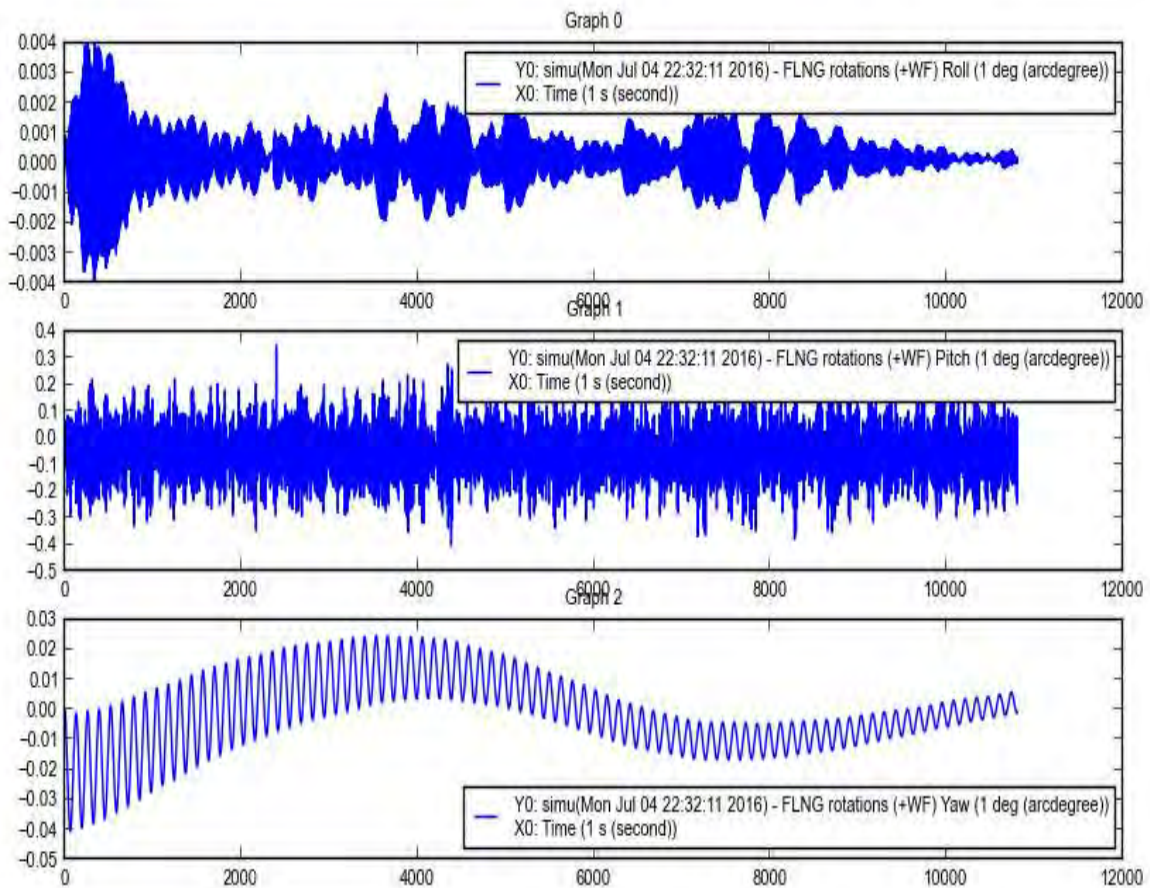
Setelah tahap permodelan struktur bangunan apung dan mooring system selesai selesai, maka dilanjutkan dengan pendefinisian beban lingkungan dengan melakukan *input* beban gelombang, beban arus dan beban angin beserta dengan sudut datangnya. Langkah terakhir sebelum melakukan analisis *time history domain* adalah mendefinisikan *pre-tension* pada *mooring lines*, *initial heading* kapal dan menentukan durasi juga *time step time history*. Setelah didapat *output time history domain* pada *Ariane8* dilanjutkan dengan tahap penganalisaan ini yaitu analisis gerakan pada saat tertambat dimana FLNG ditambatkan dengan konfigurasi *Internal Turret Mooring System* dan *External Turret Mooring System*. Dalam analisis ini hanya dilakukan dalam satu arah pembebanan, yaitu head seas (180^0). Karena FLNG yang ditambatkan dengan sistem tambat tipe *turret* ketika menerima beban dari arah 45^0 , 90^0 dan 135^0 maka dia akan berputar, yaitu yang disebut dengan *weathervaning*. Setelah melakukan *running* menggunakan software *Ariane8* dengan skenario yang telah disebutkan di sub-bab 4.2 maka dihasilkan berupa *motion* untuk kondisi *roll*, *pitch* dan *yaw* dalam format *time history*.

Gambar 4.16-4.20 adalah grafik *time history* gerakan *roll*, *pitch* dan *yaw* pada kondisi *internal turret mooring system* dan *external turret mooring system* dengan jarak 26m di depan dan di belakang FP dalam kondisi beban lingkungan *collinear* dan *non-collinear*.



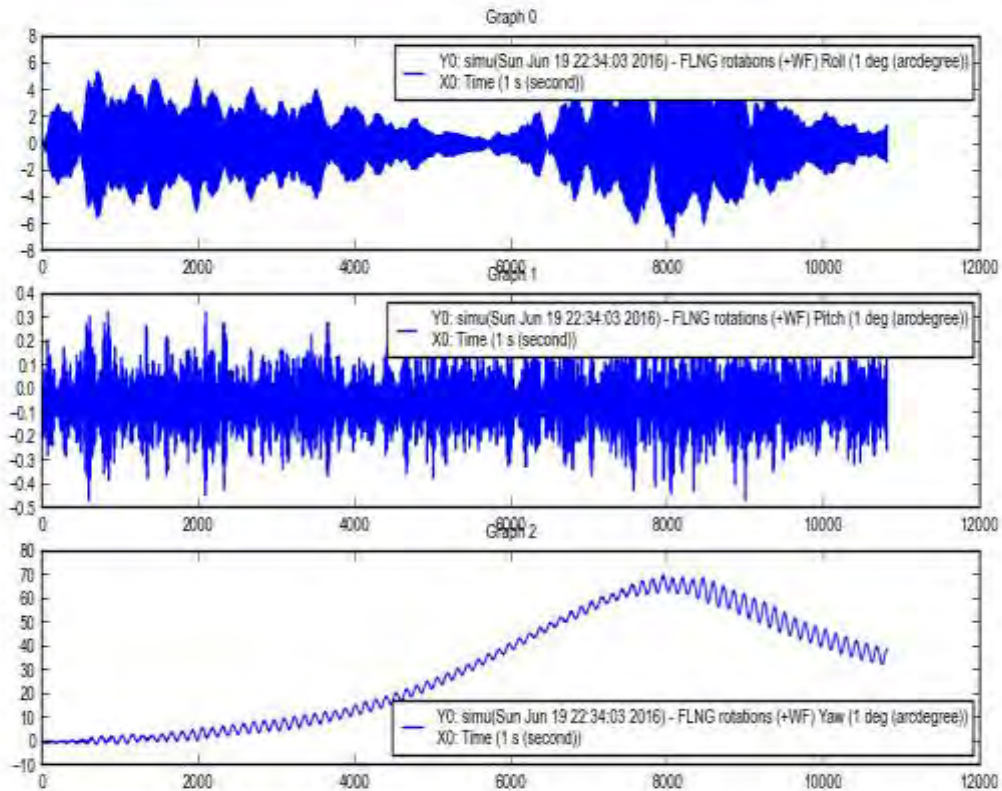
Gambar 4.16 Grafik *motion* gerakan *roll* (atas), *pitch* (tengah) dan *yaw* (bawah) konfigurasi *external turret mooring system* 26m dalam kondisi *collinear*.

Pada Gambar 4.16 didapatkan grafik *motion* hasil dari *time domain analysis* selama 10800 detik dengan bantuan *software Ariane8*, Gambar 4.16 mendeskripsikan karakteristik gerak FLNG pada kondisi tertambat konfigurasi *external turret mooring system* 26 m didepan FP dalam kondisi beban *collinear* dalam tiga mode gerak rotasional yaitu mode gerakan *roll*, mode gerakan *pitch* dan mode gerakan *yaw* dalam bentuk *time history graphic*. Setelah dilakukan pengolahan data sesuai API RP 2SK yang dapat mengakomodasi nilai dari *wave frequency* dan *low frequency* maka didapatkan nilai signifikan dari mode gerak *roll* sebesar 0,004 *deg*, untuk mode gerak *pitch* sebesar 0,192 *deg* dan untuk mode gerak *yaw* sebesar 0,048 *deg*.



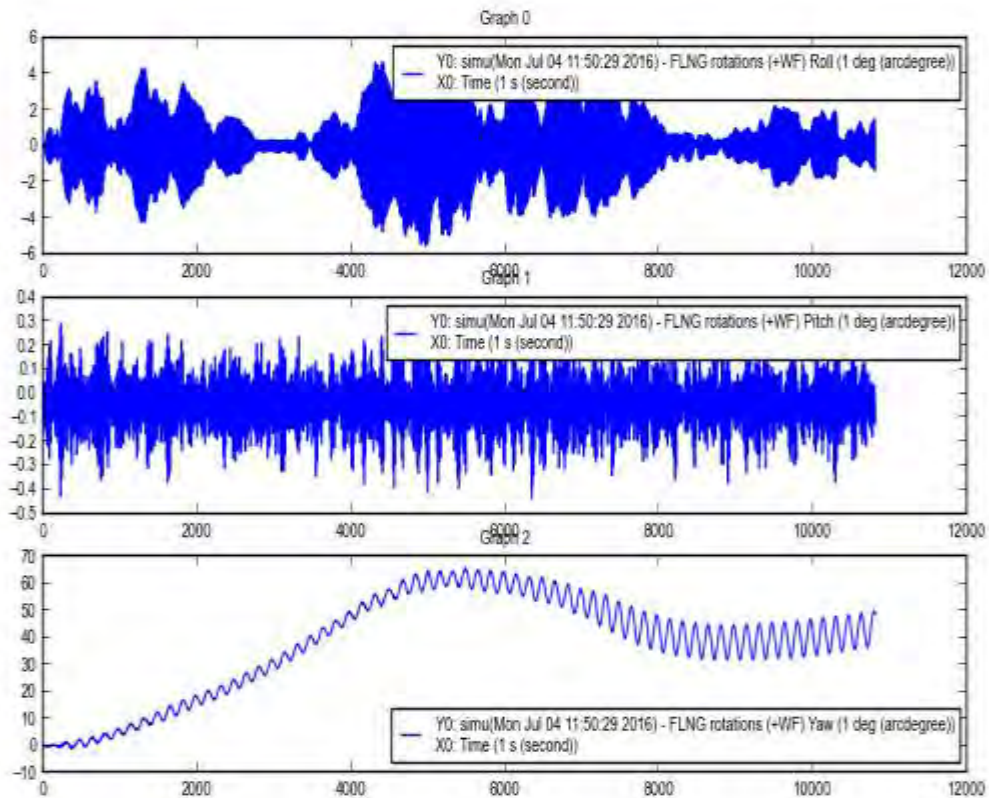
Gambar 4.17 Grafik *motion* gerakan *roll* (atas), *pitch* (tengah) dan *yaw* (bawah) konfigurasi *internal turret mooring system* 26m dalam kondisi *collinear*

Pada Gambar 4.17 didapatkan grafik *motion* hasil dari *time domain analysis* selama 10800 detik dengan bantuan *software Ariane8*, Gambar 4.17 mendeskripsikan karakteristik gerak FLNG pada kondisi tertambat konfigurasi *internal turret mooring system* 26 m dibelakang FP dalam kondisi beban *collinear* dalam tiga mode gerak rotasional yaitu mode gerakan *roll*, mode gerakan *pitch* dan mode gerakan *yaw* dalam bentuk *time history graphic*. Setelah dilakukan pengolahan data sesuai API RP2SK yang dapat mengakomodasi nilai dari *wave frequency* dan *low frequency* maka didapatkan nilai signifikan dari mode gerak *roll* sebesar 0,002 *deg*, untuk mode gerak *pitch* sebesar 0,192 *deg* dan untuk mode gerak *yaw* sebesar 0,024 *deg*.



Gambar 4.18 Grafik *motion* gerakan *roll* (atas), *pitch* (tengah) dan *yaw* (bawah) konfigurasi *external turret mooring system* 26m dalam kondisi *non-collinear*

Pada Gambar 4.18 didapatkan grafik *motion* hasil dari *time domain analysis* selama 10800 detik dengan bantuan *software Ariane8*, Gambar 4.18 mendeskripsikan karakteristik gerak FLNG pada kondisi tertambat konfigurasi *external turret mooring system* 26 m didepan FP dalam kondisi beban *non-collinear* dalam tiga mode gerak rotasional yaitu mode gerakan *roll*, mode gerakan *pitch* dan mode gerakan *yaw* dalam bentuk *time history graphic*. Setelah dilakukan pengolahan data sesuai API RP2SK yang dapat mengakomodasi nilai dari *wave frequency* dan *low frequency* maka didapatkan nilai signifikan dari mode gerak *roll* sebesar 3,978 *deg*, untuk mode gerak *pitch* sebesar 0,217 *deg* dan untuk mode gerak *yaw* sebesar 46,688 *deg*.



Gambar 4.19 Grafik *motion* gerakan *roll* (atas), *pitch* (tengah) dan *yaw* (bawah) konfigurasi *internal turret mooring system* 26m dalam kondisi *non-collinear*

Pada Gambar 4.19 didapatkan grafik *motion* hasil dari *time domain analysis* selama 10800 detik dengan bantuan *software Ariane8*, Gambar 4.19 mendeskripsikan karakteristik gerak FLNG pada kondisi tertambat konfigurasi *internal turret mooring system* 26 m dibelakang FP dalam kondisi beban *non-collinear* dalam tiga mode gerak rotasional yaitu mode gerakan *roll*, mode gerakan *pitch* dan mode gerakan *yaw* dalam bentuk *time history graphic*. Setelah dilakukan pengolahan data sesuai API RP 2SK yang dapat mengakomodasi nilai dari *wave frequency* dan *low frequency* maka didapatkan nilai signifikan dari mode gerak *roll* sebesar 3,287 deg, untuk mode gerak *pitch* sebesar 0,208 deg dan untuk mode gerak *yaw* sebesar 37,542 de

Tabel 4.2 Perbandingan *motion* signifikan FLNG pada tiap skenario

| | <i>External Turret Mooring System 26m</i> | | <i>Internal Turret Mooring System 26m</i> | |
|---------------------------|---|----------------------|---|----------------------|
| | <i>Collinear</i> | <i>Non-Collinear</i> | <i>Collinear</i> | <i>Non-Collinear</i> |
| <i>Roll (deg)</i> | 0,004 | 3,978 | 0,002 | 3,287 |
| <i>Pitch (deg)</i> | 0,192 | 0,217 | 0,192 | 0,208 |
| <i>Yaw (deg)</i> | 0,048 | 46,688 | 0,024 | 37,542 |

Dari Tabel 4.2 diatas dapat dilihat pada mode gerakan *roll*, dan *yaw* terdapat perbedaan yang tidak signifikan pada konfigurasi *internal turret mooring system* dan *external turet mooring system* bahkan mode gerakan *pitch* memiliki nilai yang sama. Hal ini disebabkan karena beban lingkungan dan titik turret berada pada garis lurus yang sama. Dalam kondisi non-collinear terdapat perbedaan yang cukup signifikan terutama untuk mode gerakan *yaw* dimana konfigurasi *external turret mooring system* memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan konfigurasi *internal turret mooring system*. Hal ini disebabkan *external turret mooring system* memiliki nilai lengan momen, yaitu jarak titik turret ke *center of rotation* kapal yang lebih panjang dibandingkan konfigurasi *internal turret mooring system*.

4.7 Analisa Tension Mooring Lines

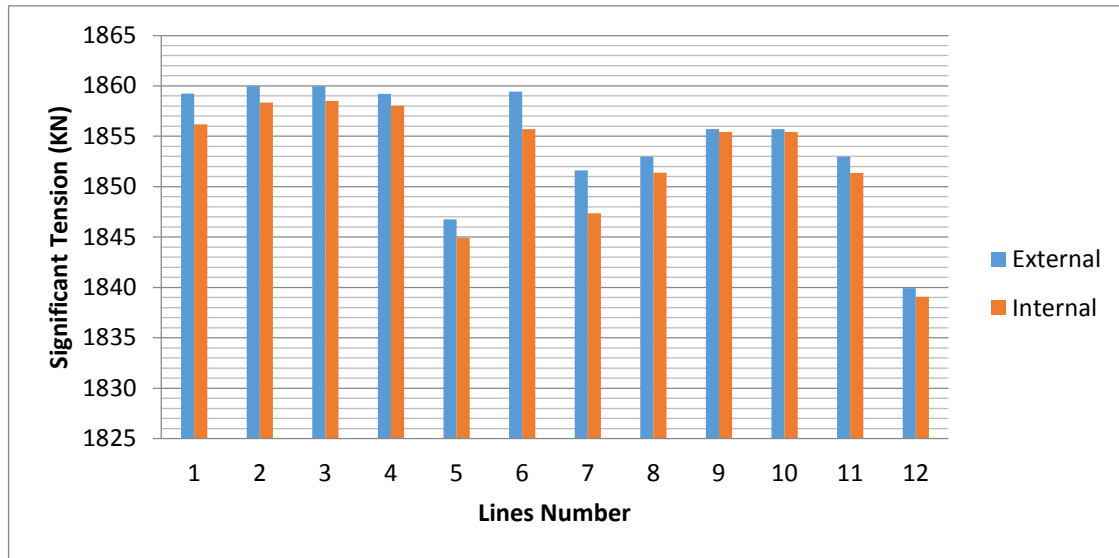
Untuk analisa ini, seluruh *input* diolah dengan menggunakan software ARIANE8 dengan analisa *time domain* selama 10800 detik, seperti yang telah diatur di DNV OS-301. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui berapa besar *tension mooring lines* pada setiap konfigurasi dan beban lingkungan. Berikut adalah nilai *significant tension* dan *average tension* pada *mooring lines* di setiap konfigurasi dan pembebanan lingkungan.

Tabel 4.3 Nilai *Tension Mooring Lines* dalam kondisi *Collinear*

| | <i>Tension External Turret Mooring System</i> | | <i>Tension Internal Turret Mooring System</i> | |
|---------|---|-----------------------------|---|-----------------------------|
| | <i>Significant Tension (KN)</i> | <i>Average Tension (KN)</i> | <i>Significant Tension (KN)</i> | <i>Average Tension (KN)</i> |
| Line 1 | 1859,237 | 1852,811 | 1856,203 | 1850,349 |
| Line 2 | 1859,953 | 1857,196 | 1858,333 | 1850,754 |
| Line 3 | 1859,963 | 1857,649 | 1858,492 | 1851,018 |
| Line 4 | 1859,210 | 1850,376 | 1858,021 | 1851,054 |
| Line 5 | 1846,275 | 1838,897 | 1844,928 | 1837,578 |
| Line 6 | 1859,435 | 1848,979 | 1855,697 | 1809,637 |
| Line 7 | 1851,609 | 1848,806 | 1847,372 | 1836,420 |
| Line 8 | 1852,996 | 1842,573 | 1851,382 | 1836,427 |
| Line 9 | 1855,719 | 1842,670 | 1855,419 | 1842,662 |
| Line 10 | 1855,719 | 1842,670 | 1855,419 | 1842,662 |
| Line 11 | 1852,996 | 1842,573 | 1851,359 | 1841,374 |
| Line 12 | 1839,942 | 1834,991 | 1839,067 | 1832,110 |

Dari Tabel 4.3 didapat informasi bahwa untuk tipe *external turret collinear tension* 26m nilai tension signifikan terbesar terjadi pada *line 3* sebesar 1859,953 KN, sedikit lebih besar dibandingkan *tension signifikan internal turret mooring system* sebesar 1858,492 KN yang terjadi juga pada *line 3*. Untuk melihat gambaran komparasi *tension* pada kedua konfigurasi *mooring system* tersebut dapat dilihat pada gambar 4.19

Hal ini dipengaruhi oleh nilai *motion* pada *external turret* yang sedikit lebih besar dibandingkan pada *internal turret*. Selanjutnya, dilakukan analisa *tension mooring lines* pada kondisi pembebanan *non-collinear*.

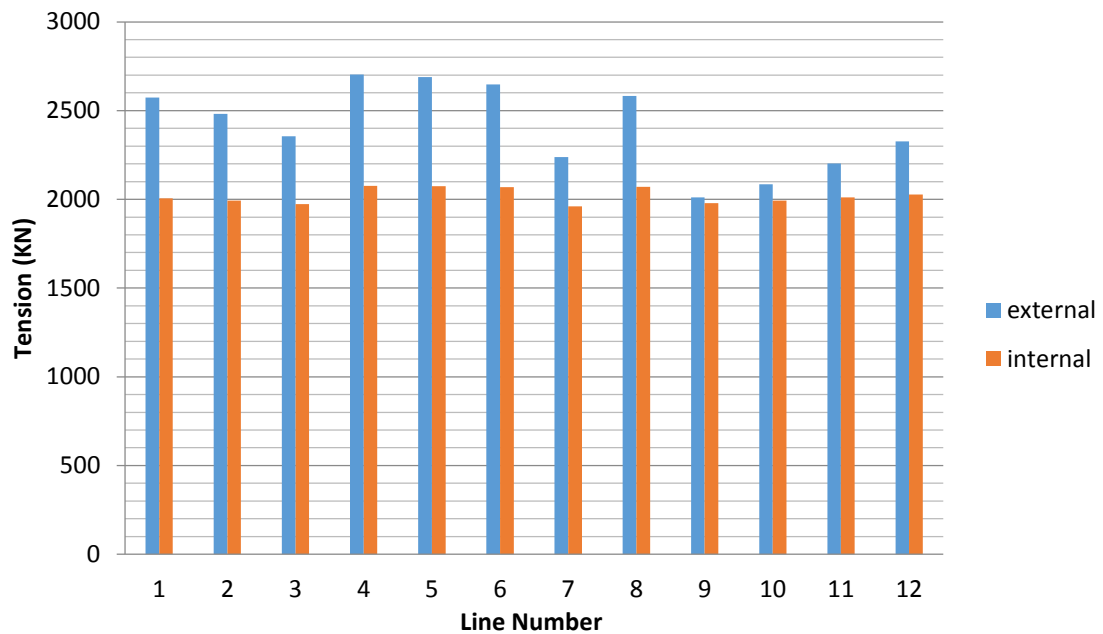


Gambar 4.20 Grafik perbandingan *tension external turret mooring system* dan *internal turret mooring system* pada kondisi *collinear*

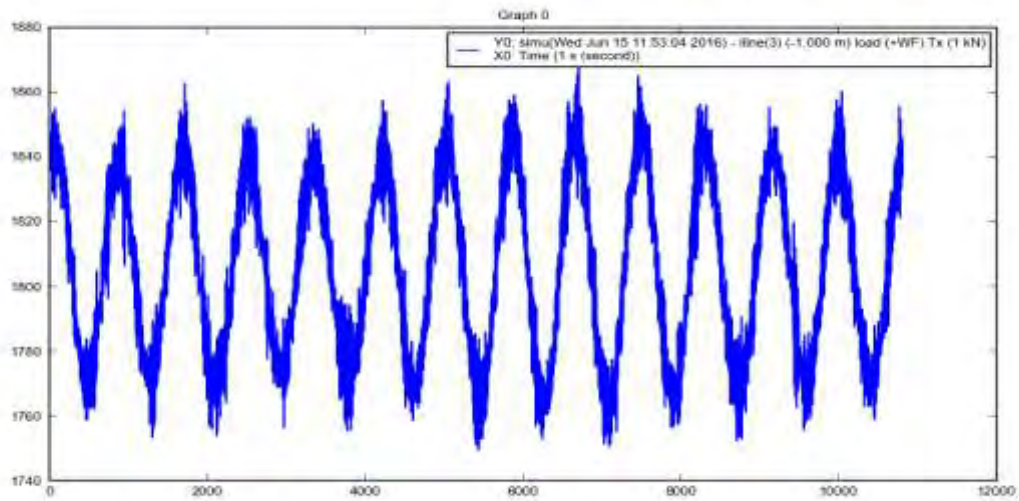
Tabel 4.4 Nilai *Tension Mooring Lines* dalam kondisi *Non-Collinear*

| | <i>Tension External Turret Mooring System</i> | | <i>Tension Internal Turret Mooring System</i> | |
|---------|---|-----------------------------|---|-----------------------------|
| | <i>Significant Tension (KN)</i> | <i>Average Tension (KN)</i> | <i>Significant Tension (KN)</i> | <i>Average Tension (KN)</i> |
| Line 1 | 2572,694 | 1902,540 | 2006,118 | 1793,514 |
| Line 2 | 2482,354 | 1891,747 | 1993,758 | 1788,282 |
| Line 3 | 2355,142 | 1878,184 | 1973,414 | 1787,359 |
| Line 4 | 2703,084 | 1918,498 | 2075,153 | 1899,071 |
| Line 5 | 2689,159 | 1914,648 | 2074,472 | 1888,476 |
| Line 6 | 2647,784 | 1908,003 | 2068,801 | 1876,853 |
| Line 7 | 2238,705 | 1867,160 | 1960,984 | 1788,780 |
| Line 8 | 2583,072 | 1899,464 | 2070,511 | 1908,476 |
| Line 9 | 2011,318 | 1877,368 | 1978,717 | 1898,435 |
| Line 10 | 2085,176 | 1882,551 | 1993,113 | 1890,711 |
| Line 11 | 2202,063 | 1890,338 | 2010,718 | 1881,996 |
| Line 12 | 2326,010 | 1898,999 | 2027,469 | 1872,334 |

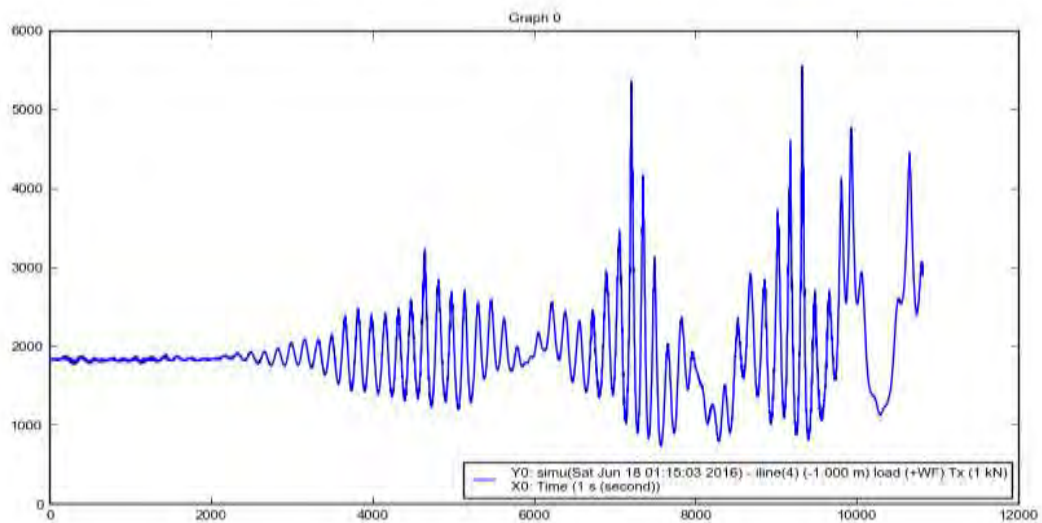
Dari Tabel 4.4 didapat informasi bahwa untuk tipe *external turet non-collinear* 26 m nilai *tension* signifikan terbesar terjadi pada *line 4* sebesar 2703,084 KN, lebih besar dibandingkan nilai *tension signifikan internal turret mooring system* sebesar 2075,153 KN yang terjadi juga pada *line 4*. Untuk melihat gambaran komparasi *tension* pada kedua konfigurasi *mooring system* tersebut dapat dilihat pada gambar 4.20. Pengolahan data nilai *tension* pada *time history* ini dilakukan dengan metode yang ada pada API RP 2SK yang telah tercantum pada sub-bab 2.2.8. Gambar 4.23 dan 4.23 adalah contoh grafik *time history external turret collinear mooring lines 3* dan *external turret non-collinear mooring lines 4* yang didapat dari *Ariane8* selama 3 jam.



Gambar 4.21 Grafik perbandingan tension *external turret mooring system* dan *internal turret mooring system* pada kondisi *non-collinear*



Gambar 4.22 Grafik *time history tension external turret mooring system 26m* dalam kondisi *collinear*.

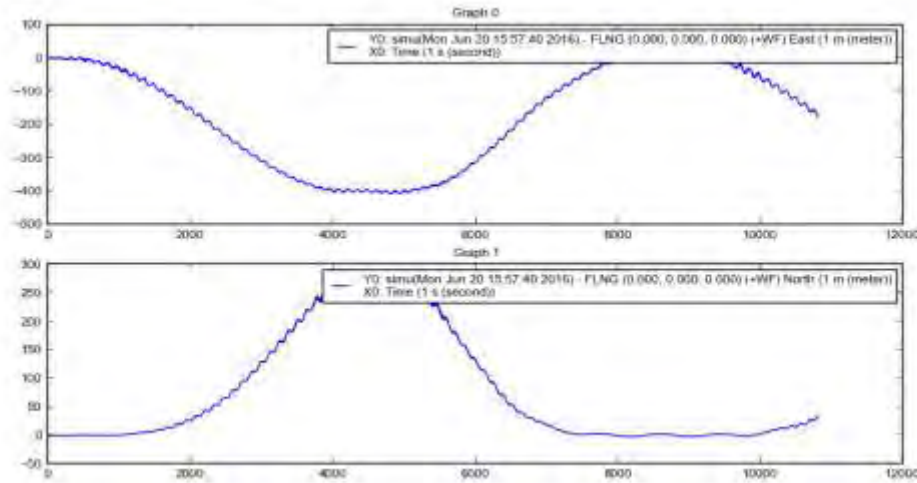


Gambar 4.23 Grafik *time history tension external turret mooring system 26m* dalam kondisi *Non-collinear*

Dari Gambar 4.22 dan 4.23 dapat dilihat bahwa tren yang lebih fluktuatif terjadi pada grafik *time history non-collinear*, hal ini terjadi karena adanya magnifikasi beban lingkungan pada kondisi *non-collinear*.

4.8 Analisa Offset (*excursion*) FLNG Setelah Tertambat

Analisa selanjutnya adalah menghitung posisi perpindahan FLNG pada saat dikenai beban lingkungan dengan konfigurasi ditambatkan pada turret mooring system. Turret mooring system merupakan sistem tambat yang mengizinkan agar objek kapal berotasi terhadap turret atau yang biasa disebut (*weathervaning*) sehingga nilai offset yang dihasilkan cukup besar. Gambar 4.24 dan Tabel 4.5 adalah gambar dan tabel yang menunjukkan hasil *offset time history* pada *Ariane8* :



Gambar 4.24 Grafik *time history offset external turret mooring system 26m* dalam kondisi *Non-collinear*

Tabel 4.5 Nilai *Offset FLNG* pada kedua konfigurasi *turret mooring system*

| | <i>External Turret Mooring System 26m</i> | | <i>Internal Turret Mooring System 26m</i> | |
|--|--|----------------------|--|----------------------|
| | <i>Collinear</i> | <i>Non-Collinear</i> | <i>Collinear</i> | <i>Non-Collinear</i> |
| <i>Transversal / Sway (m)</i> | (-) 0,266 | (-) 385,844 | (-) 0,230 | (-) 318,297 |
| <i>Longitudinal / Surge (m)</i> | (+) 2,155 | (+) 235,131 | (+) 1,490 | (+) 193,984 |

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat untuk kasus collinear nilai *excursion* sangat kecil, sementara untuk kasus non-collinear nilai *excursion* terjadi pada konfigurasi *external turret* senilai (+) 235,131 m terhadap garis longitudinal dan senilai (-) 385,844 m terhadap garis transversal. Dari Gambar 4.24 dapat dilihat FLNG ber-*weathervaning* secara perlahan hingga akhirnya berada di titik *excursion* maksimum.

4.9 Analisa variasi jarak *turret mooring system*

Pada analisa di subbab sebelumnya telah dilakukan analisa komparasi perilaku gerak FLNG dengan jarak *external turret* 26 m didepan FP dan *internal turret* 26 m dibelakang FP, dari hasil analisa tersebut didapat bawa perbedaan perilaku gerak FLNG terjadi pada kondisi pembebanan lingkungan yang *non-collinear* maka dari itu untuk analisa kali ini hanya ditinjau dari kondisi *non-collinear*. Penelitian ini akan mengkomparasi perilaku gerak FLNG dengan variasi jarak turret sebesar 26m dari FP, 51,25 m dari FP (12,5% Lpp) dan 71,75 m dari FP (15% Lpp). Berikut adalah tabel komparasi *tension*, *motion* dan *offset* FLNG dengan variasi jarak *turret* :

Tabel 4.6 Nilai *Tension*, *Motion* dan *Offset* 51,25m *External Turret*

| TENSION | | Motion | | | Offset | |
|--------------|------------------|------------|-------------|------------|-----------------|-----------------|
| Lines number | Significant (KN) | Roll (deg) | Pitch (deg) | Yaw (deg) | Transversal (m) | Longitdinal (m) |
| Line 1 | 2573,245 | (+) 4,181 | (+) 0,217 | (+) 48,233 | (-)386,811 | (+) 235,888 |
| Line 2 | 2484,187 | | | | | |
| Line 3 | 2359,142 | | | | | |
| Line 4 | 2704,048 | | | | | |
| Line 5 | 2689,868 | | | | | |
| Line 6 | 2670,512 | | | | | |
| Line 7 | 2239,534 | | | | | |
| Line 8 | 2586,163 | | | | | |
| Line 9 | 2015,830 | | | | | |
| Line 10 | 2085,761 | | | | | |
| Line 11 | 2206,286 | | | | | |
| Line 12 | 2327,956 | | | | | |

Tabel 4.7 Nilai *Tension, Motion dan Offset* 51,25m *Internal Turret*

| TENSION | | Motion | | | Offset | |
|--------------|------------------|------------|-------------|------------|-----------------|-----------------|
| Lines number | Significant (KN) | Roll (deg) | Pitch (deg) | Yaw (deg) | Transversal (m) | Longitdinal (m) |
| Line 1 | 2240,301 | (+) 4,140 | (+) 0,209 | (+) 38,588 | (-)331,963 | (+) 274,313 |
| Line 2 | 2168,918 | | | | | |
| Line 3 | 2080,572 | | | | | |
| Line 4 | 2409,812 | | | | | |
| Line 5 | 2397,744 | | | | | |
| Line 6 | 2015,293 | | | | | |
| Line 7 | 2404,989 | | | | | |
| Line 8 | 2383,467 | | | | | |
| Line 9 | 2012,608 | | | | | |
| Line 10 | 2047,521 | | | | | |
| Line 11 | 2202,353 | | | | | |
| Line 12 | 2290,561 | | | | | |

Tabel 4.8 Nilai *Tension, Motion dan Offset* 71,75m *External Turret*

| TENSION | | Motion | | | Offset | |
|--------------|------------------|------------|-------------|------------|-----------------|-----------------|
| Lines number | Significant (KN) | Roll (deg) | Pitch (deg) | Yaw (deg) | Transversal (m) | Longitdinal (m) |
| Line 1 | 2578,451 | (+) 4,751 | (+) 0,226 | (+) 50,487 | (-)388,111 | (+)236,119 |
| Line 2 | 2486,175 | | | | | |
| Line 3 | 2359,994 | | | | | |
| Line 4 | 2708,333 | | | | | |
| Line 5 | 2692,998 | | | | | |
| Line 6 | 2671,444 | | | | | |
| Line 7 | 2246,444 | | | | | |
| Line 8 | 2589,552 | | | | | |
| Line 9 | 2019,998 | | | | | |
| Line 10 | 2086,839 | | | | | |
| Line 11 | 2207,886 | | | | | |
| Line 12 | 2330,636 | | | | | |

Informasi nilai *tension, motion* dan *offset* pada konfigurasi *internal turret* dan *external turret* 51,25m dapat dilihat di Tabel 4.6 dan 4.7, sementara nilai untuk konfigurasi 71,75 m dapat dilihat di Tabel 4.8 dan 4.9

Tabel 4.9 Nilai *Tension, Motion dan Offset 71,75m Internal Turret*

| TENSION | | Motion | | | Offset | |
|--------------|------------------|------------|-------------|------------|-----------------|-----------------|
| Lines number | Significant (KN) | Roll (deg) | Pitch (deg) | Yaw (deg) | Transversal (m) | Longitdinal (m) |
| Line 1 | 2557,311 | (+) 4,490 | (+) 0,227 | (+) 51,009 | (-)345,397 | (+) 216,718 |
| Line 2 | 2471,938 | | | | | |
| Line 3 | 2359,45 | | | | | |
| Line 4 | 2695,071 | | | | | |
| Line 5 | 2691,539 | | | | | |
| Line 6 | 2670,415 | | | | | |
| Line 7 | 2275,826 | | | | | |
| Line 8 | 2539,43 | | | | | |
| Line 9 | 2013,52 | | | | | |
| Line 10 | 2065,675 | | | | | |
| Line 11 | 2203,711 | | | | | |
| Line 12 | 2326,963 | | | | | |

Dari Tabel 4.6 dan 4.7 dapat dilihat untuk variasi jarak turret 51,25m memiliki tren yang sama dengan jarak turret 26m dimana nilai *motion, tension dan offset external turret mooring system* lebih besar dibandingkan *internal turret mooring system*. Pada variasi jarak 51,25m nilai *maksimum significant tension external turret* sebesar 2704,048 KN dan *internal turret mooring system* sebesar 2409,812 KN. Nilai *motion external turret* pada mode gerakan *roll* sebesar 4,181 deg, 0,217 deg untuk mode gerakan *pitch* dan 48,233 deg untuk gerakan *yaw*. Nilai *motion internal turret* pada mode gerakan *roll* sebesar 4,140 deg, 0,209 deg untuk mode gerakan *pitch* dan 38,588 deg untuk gerakan *yaw*. Nilai *offset (excursion) external turret* sebesar (-)386,811 terhadap garis *transversal* dan (+)235,888 terhadap garis *longitudinal*, sementara untuk nilai *offset (excursion) internal turret* adalah sebesar (-)331,963 terhadap garis *transversal* dan (+)274,313 terhadap garis *longitudinal*. Dari Tabel 4.8 dan 4.9 juga dapat dilihat untuk variasi jarak turret 71,75 m memiliki tren yang sama dengan *jarak turret 26m dan 51,25 m* dimana nilai *motion, tension dan offset external turret mooring system* lebih besar dibandingkan *internal turret mooring system*.

Dari keseluruhan hasil variasi jarak *turret* tersebut didapat titik optimum *turret mooring system* pada penelitian ini adalah *internal turret mooring system* 26m dibelakang FP dikarenakan memiliki nilai *tension* yang paling minimum.

4.10 Pengecekan Hasil Terhadap API RP 2SK

Batas *tension* suatu *mooring lines* dapat dilihat dari nilai *minimum breaking load* (MBL) atau *minimum breaking strength* (MBS) dari sebuah *mooring lines*. MBL didefinisikan sebagai nilai *breaking strength* yang dijanjikan dari pihak manufaktur komponen *mooring* tersebut. API RP2SK telah mengatur untuk analisis dinamis dalam kondisi *intact* nilai *safety factor* harus melebihi 2, nilai *safety factor* tersebut didapatkan dari nilai MBL dari *mooring lines* dibagi dengan nilai *tension* maksimum dari *mooring lines* setelah kondisi tertambat. Nilai *safety factor* dari setiap konfigurasi *mooring lines* dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Nilai *safety factor* dari setiap konfigurasi *turret mooring system*

| Konfigurasi mooring system | MBL (KN) | Nilai Tension terbesar (KN) | Safety Factor | Keterangan |
|---------------------------------------|----------|-----------------------------|---------------|------------|
| External Turret 26 m collinear | 12689,7 | 1859,96 | 6,82 | OK |
| External Turret 26 m non-collinear | 12689,7 | 2703,08 | 4,69 | OK |
| External Turret 51,25 m non-collinear | 12689,7 | 2704,05 | 4,69 | OK |
| External Turret 71,75 m non-collinear | 12689,7 | 2708,33 | 4,69 | OK |
| Internal Turret 26 m collinear | 12689,7 | 1858,49 | 6,83 | OK |
| Internal Turret 26 m non-collinear | 12689,7 | 2075,15 | 6,12 | OK |
| Internal Turret 51,25 m non-collinear | 12689,7 | 2409,81 | 5,27 | OK |
| Internal Turret 71,75 m non-collinear | 12689,7 | 2695,07 | 4,71 | OK |

Dari Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa nilai *safety factor* dari setiap konfigurasi *turret mooring system* telah memenuhi syarat dari APIRP2SK karena nilai *safety factor* dari setiap konfigurasi lebih dari 2.

LAMPIRAN A

(INPUT SOFTWARE)

1. Input Software

Hydrostar

1.1 Pemodelan Hull FLNG pada Hydrostar (.hul)

| | | | | | | |
|----------|--------|----|--|--------|--------|---|
| Format 4 | | | | 8 | 13.723 | 0 |
| 410 | 70 | 56 | | 32.982 | 13.723 | 0 |
| | | | | 34.114 | 14.192 | 0 |
| -45 | 7 | | | 34.582 | 15.323 | 0 |
| 0 | 6 | 0 | | 34.582 | 36 | 0 |
| 8 | 6 | 0 | | | | |
| 8 | 14.7 | 0 | | | | |
| 28.4 | 14.7 | 0 | | | | |
| 29.531 | 15.618 | 0 | | | | |
| 30 | 16.3 | 0 | | -40 | 7 | |
| 30 | 36 | 0 | | 0 | 6 | 0 |
| | | | | 8 | 6 | 0 |
| | | | | 8 | 13.069 | 0 |
| -44 | 7 | | | 33.4 | 13.069 | 0 |
| 0 | 6 | 0 | | 34.531 | 13.538 | 0 |
| 8 | 6 | 0 | | 35 | 14.465 | 0 |
| 8 | 14.376 | 0 | | 35 | 36 | 0 |
| 31.398 | 14.376 | 0 | | | | |
| 27.53 | 14.845 | 0 | | | | |
| 32.998 | 15.976 | 0 | | -35 | 7 | |
| 32.998 | 36 | 0 | | 0 | 6 | 0 |
| | | | | 8 | 6 | 0 |
| | | | | 8 | 11.44 | 0 |
| -43 | 7 | | | 33.426 | 11.44 | 0 |
| 0 | 6 | 0 | | 34.77 | 12.226 | 0 |
| 8 | 6 | 0 | | 35 | 13.013 | 0 |
| 8 | 14.049 | 0 | | 35 | 36 | 0 |
| 32.398 | 14.049 | 0 | | | | |
| 33.529 | 14.518 | 0 | | | | |
| 33.998 | 15.649 | 0 | | -30 | 7 | |
| 33.998 | 36 | 0 | | 0 | 6 | 0 |
| | | | | 8 | 6 | 0 |
| | | | | 8 | 9.805 | 0 |
| -42 | 7 | | | 33.451 | 9.805 | 0 |
| 0 | 6 | 0 | | 34.778 | 10.591 | 0 |
| 8 | 6 | 0 | | 35 | 11.337 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| -25 | 7 | |
| 0 | 6 | 0 |
| 8 | 6 | 0 |
| 8 | 8.166 | 0 |
| 33.414 | 8.166 | 0 |
| 34.779 | 8.959 | 0 |
| 35 | 9.476 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| -20 | 7 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 |
| 8 | 6.533 | 0 |
| 33.425 | 6.533 | 0 |
| 34.777 | 7.319 | 0 |
| 35 | 8.106 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| -15 | 7 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 |
| 8 | 4.907 | 0 |
| 33.339 | 4.907 | 0 |
| 34.784 | 5.712 | 0 |
| 35 | 6.512 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| -10 | 7 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 |
| 8 | 3.271 | 0 |
| 33.4 | 3.271 | 0 |
| 34.785 | 4.075 | 0 |
| 35 | 4.875 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| -5 | 7 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 |
| 8 | 1.638 | 0 |
| 33.4 | 1.638 | 0 |
| 34.531 | 2.11 | 0 |
| 35 | 3.242 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| 0 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| 5 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| 10 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| 20 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 30 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 40 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 50 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 60 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 70 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|----|---|---|
| 80 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 90 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 100 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 110 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 120 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 130 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| 140 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| 150 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| 160 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| 170 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| 180 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 190 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| 200 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| 210 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| 220 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |
| | | |
| 230 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 240 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 250 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 260 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 270 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 280 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|-----|---|---|
| 290 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 300 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 310 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 320 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 325 | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 33.4 | 0 | 0 |
| 34.531 | 0.468 | 0 |
| 35 | 1.575 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 330 | 8 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 27.515 | 0 | 0 |
| 28.314 | 0.23 | 0 |
| 28.612 | 0.461 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---|
| 34.548 | 6.379 | 0 |
| 34.895 | 6.941 | 0 |
| 35 | 7.485 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|--------|---|
| 335 | 8 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 21.6 | 0 | 0 |
| 22.391 | 0.226 | 0 |
| 22.687 | 0.452 | 0 |
| 34.566 | 12.331 | 0 |
| 34.898 | 12.866 | 0 |
| 35 | 13.4 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|--------|---|
| 340 | 8 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 15.684 | 0 | 0 |
| 16.474 | 0.225 | 0 |
| 16.772 | 0.452 | 0 |
| 34.549 | 18.229 | 0 |
| 34.879 | 18.735 | 0 |
| 35 | 19.24 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|--------|---|
| 345 | 8 | |
| 0 | 0 | 0 |
| 9.768 | 0 | 0 |
| 10.561 | 0.226 | 0 |
| 10.856 | 0.452 | 0 |
| 34.531 | 24.127 | 0 |
| 34.896 | 24.693 | 0 |
| 35 | 25.258 | 0 |
| 35 | 36 | 0 |

| | | |
|-------|--------|---|
| 350 | 8 | |
| 0 | 0.4381 | 0 |
| 8.597 | 0.4381 | 0 |

| | | |
|--------|--------|---|
| 9.209 | 4.502 | 0 |
| 9.728 | 4.849 | 0 |
| 29.029 | 24.151 | 0 |
| 29.38 | 24.708 | 0 |
| 29.48 | 25.264 | 0 |
| 29.48 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|--------|---|
| 355 | 8 | |
| 0 | 8.761 | 0 |
| 7.452 | 8.761 | 0 |
| 8.064 | 8.882 | 0 |
| 8.583 | 9.229 | 0 |
| 23.487 | 24.133 | 0 |
| 23.851 | 24.698 | 0 |
| 23.955 | 25.264 | 0 |
| 23.955 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|--------|---|
| 360 | 8 | |
| 0 | 13.142 | 0 |
| 6.308 | 13.142 | 0 |
| 6.921 | 13.263 | 0 |
| 7.44 | 13.61 | 0 |
| 17.962 | 24.133 | 0 |
| 18.326 | 24.698 | 0 |
| 18.43 | 25.264 | 0 |
| 18.43 | 36 | 0 |

| | | |
|--------|--------|---|
| 365 | 8 | |
| 0 | 17.885 | 0 |
| 5.524 | 17.885 | 0 |
| 6.137 | 18.006 | 0 |
| 6.656 | 18.353 | 0 |
| 12.431 | 24.13 | 0 |
| 12.777 | 24.65 | 0 |
| 12.899 | 25.264 | 0 |
| 12.899 | 36 | |

1.2 Linierisasi *beam damping* untuk meningkatkan konvergensi (.mcn)

```
FILENAME masela

#MASS_BODY          1          3.8378E8
GYRADIUS_BODY      1          23.8 105 105 0.0 0.0 0.0
COGPOINT_BODY      1          158.89 0.0 9.08

LINVISCOUSDAMPING1      5.0

WAVEAMPLITUDE      1.0

INERTIAL_MATRIX     TYPE  0
ENDINERTIAL_MATRIX

REFLENGTH          1.0
RHO                 1025.0
GRAVITY             9.81
REFWAVE             0.00  0.00
HYDSWPLANE

DAMPING_MATRIX      TYPE  0
ENDDAMPING_MATRIX

QDAMPING_MATRIX     TYPE  0
ENDQDAMPING_MATRIX

ENDFILE
```

1.3 Definisi *principal dimension* struktur bangunan apung (.mri)

```
test
HULF
4
test.hul
IXDEF
1
TYPF
2
330
TYP A
21
45
DRAUGHT
15.5
MPAR
75 25
ABOVE
36
ENDMR
```

1.4 Konstruksi *transfer function* (.rao)

```
FXF1ST FILE WFsurg.rao
FYF1ST FILE WFsway.rao
FZF1ST FILE WFheave.rao
MXF1ST FILE WFroll.rao
MYF1ST FILE WFPitch.rao
MZF1ST FILE WFyaw.rao

GSURGE  FILE      X1.rao  AMP      inFREQUENCY
GSWAY   FILE      X2.rao  AMP      inFREQUENCY
GHEAVE  FILE      X3.rao  AMP      inFREQUENCY
GROLL   FILE      X4.rao  AMP      inFREQUENCY
GPITCH  FILE      X5.rao  AMP      inFREQUENCY
GYAW    FILE      X6.rao  AMP      inFREQUENCY
AHEAVE  FILE      XX3.rao  AMP      inFREQUENCY
APITCH  FILE      XX6.rao  AMP      inFREQUENCY

CM       FILE      adm.rao  TERM 11 22 33 44 55
CA       FILE      rdm.rao  TERM 11 22 33 44 55
ARIANE7N MOM FILE database.dat

ENDFILE
```

1.4 Komputasi *radiation and diffraction* (.rdf)

```
FILENAME masela
```

```
FREQUENCES      TYPE      2

WMIN      0.1
WMAX      2.1
WSTP      0.1
```

```
ENDFREQUENCES
```

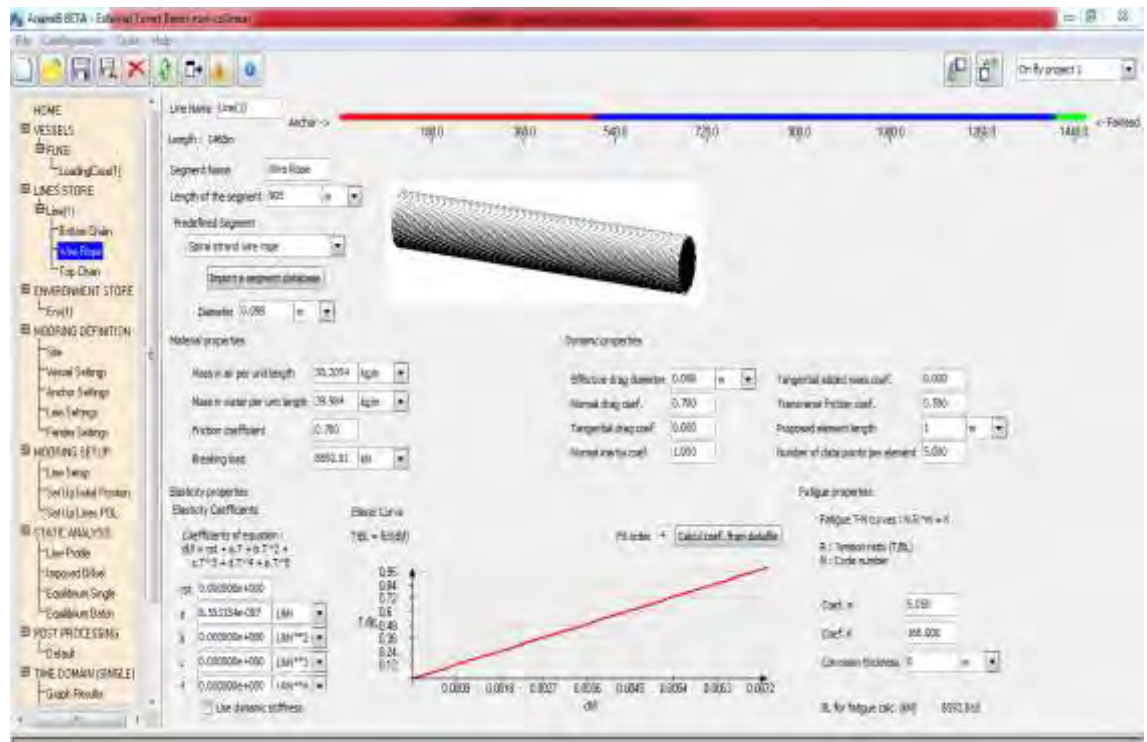
```
HEADINGS TYPE      2

HMIN      0.0
HMAX      180
HSTP      45.0
ENDHEADINGS
```

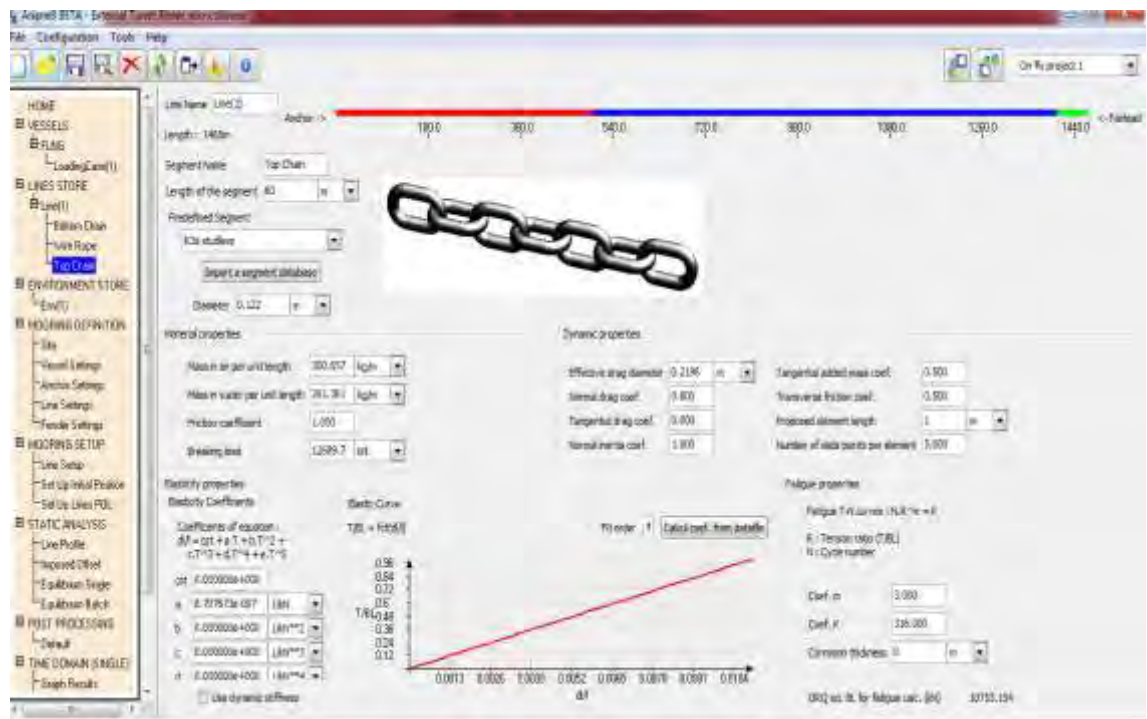
```
*NBFREQUENCY
*NBHEADING
WATERDEPTH      600
```

```
ENDFILE
```

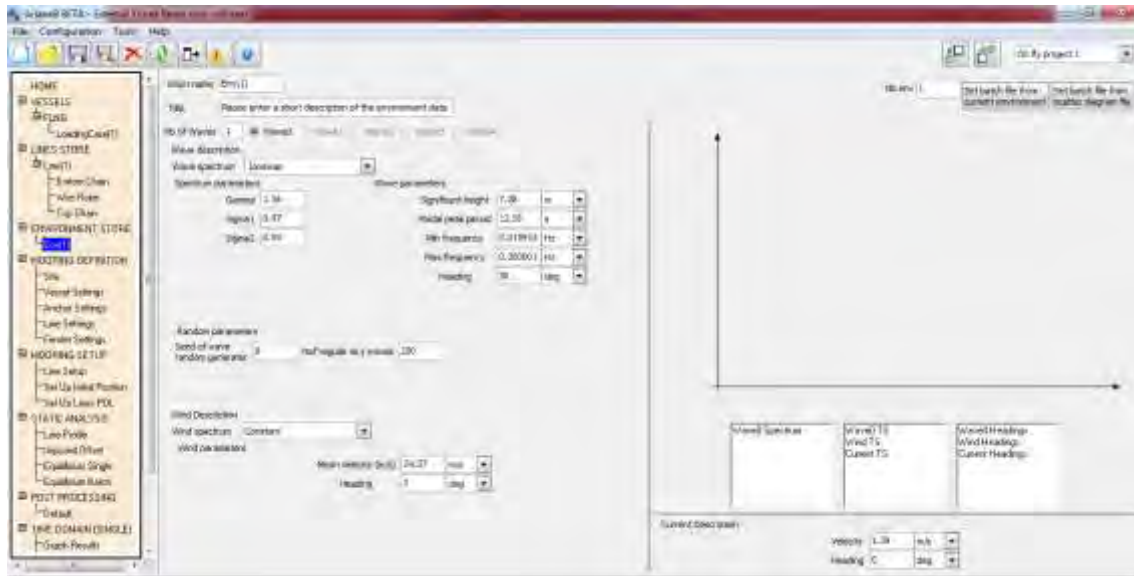

2.2.2 Input material properties wire rope



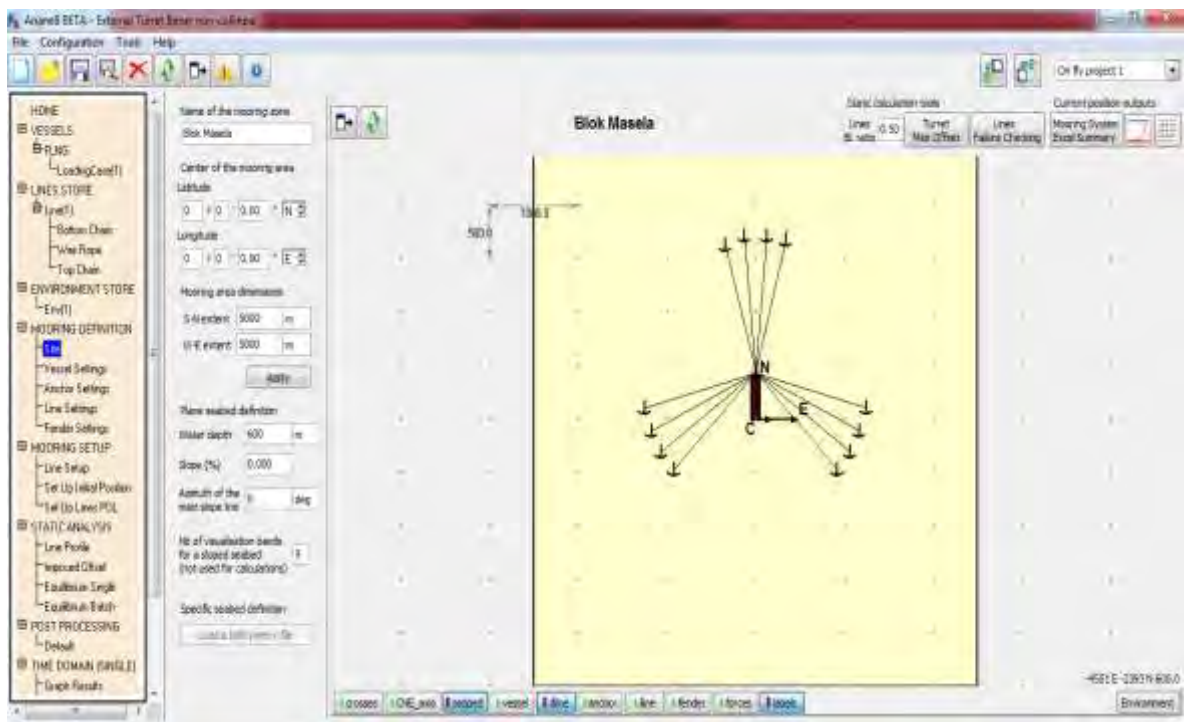
2.2.3 Input material properties top chain



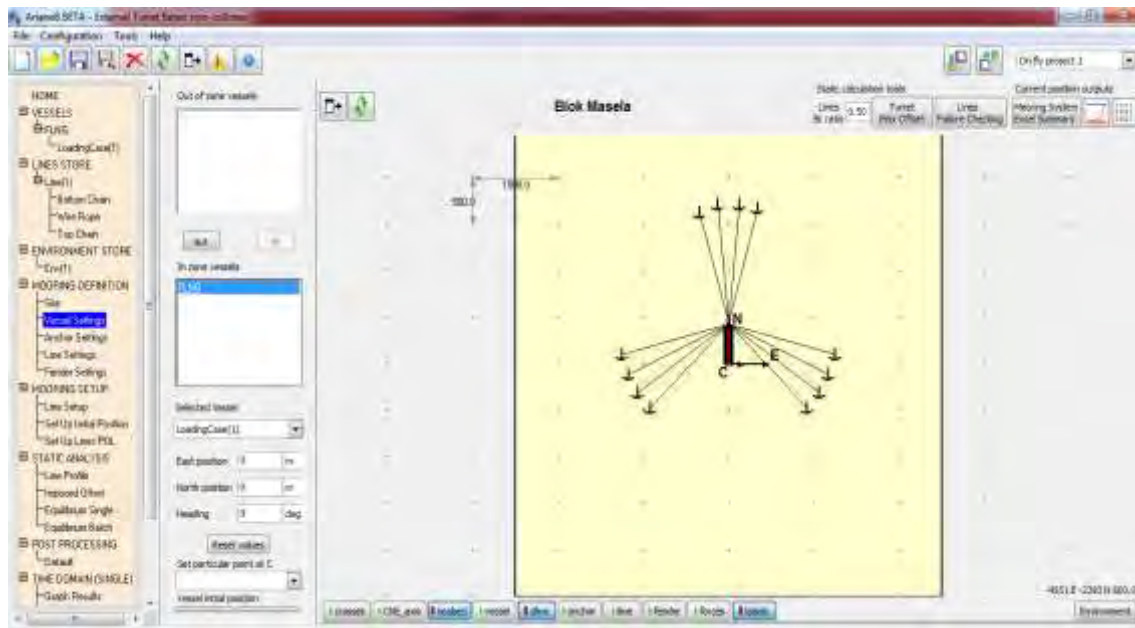
2.3 Input environmental loads condition



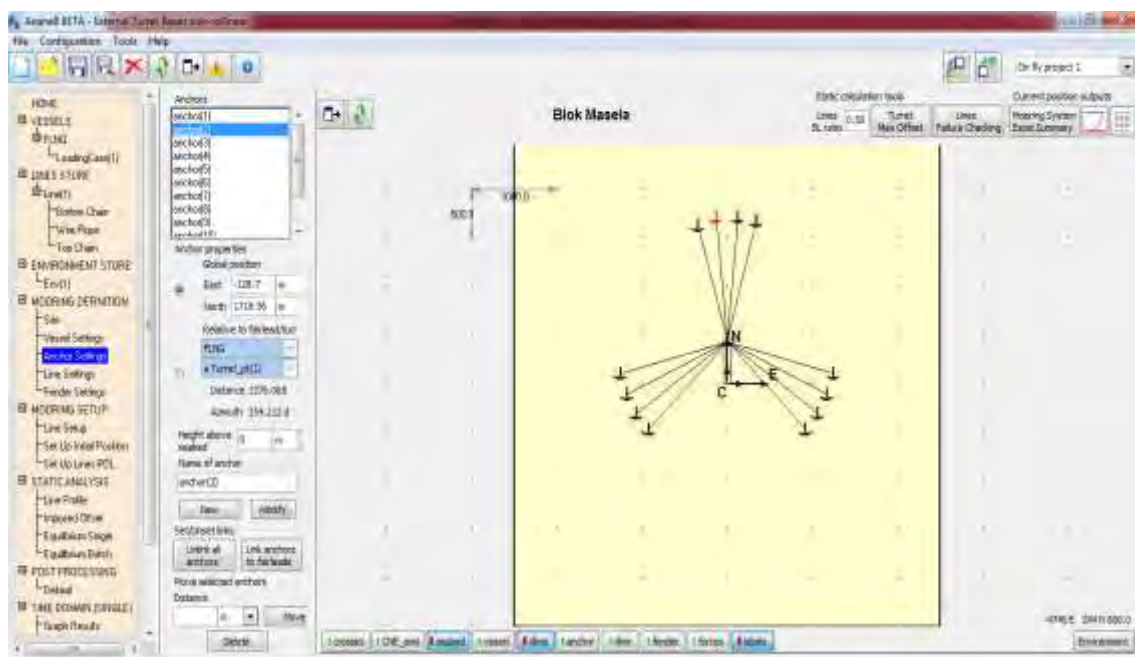
2.4 Input site condition



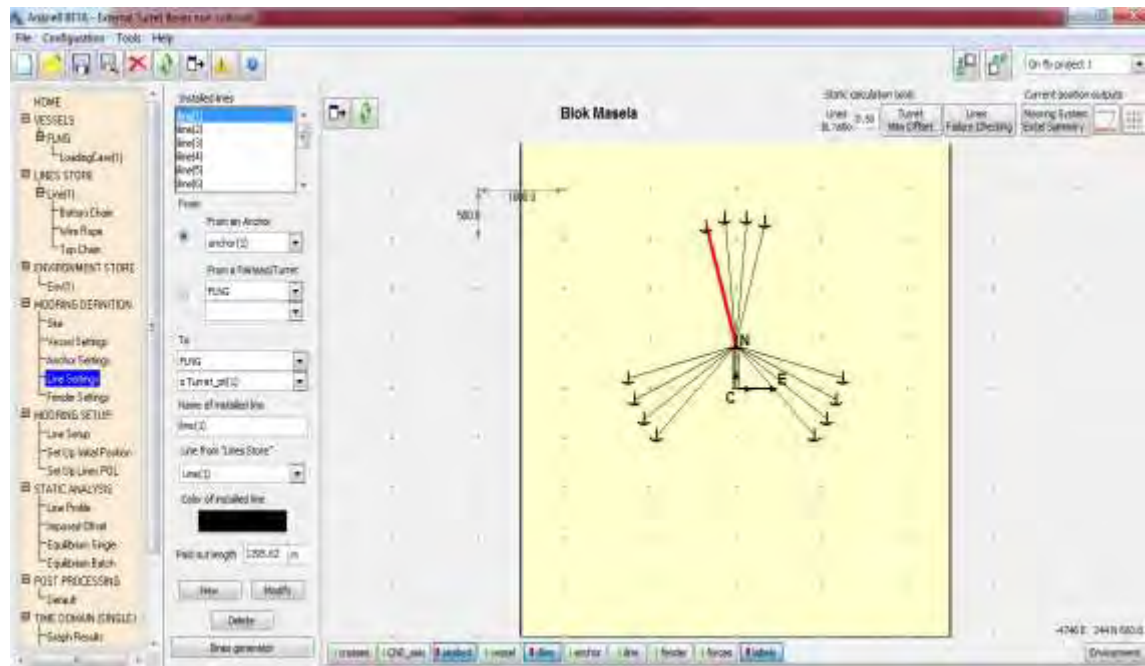
2.5 Input vessel settings



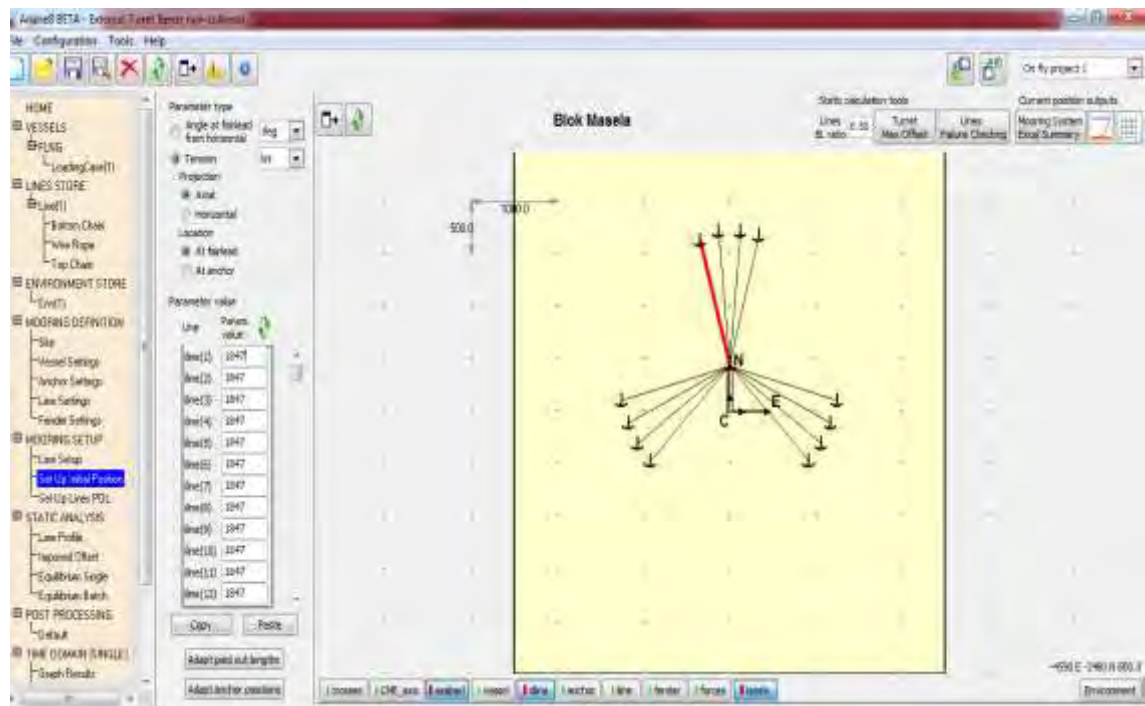
2.6 Input anchor settings



2.7 Input line settings



2.8 Input set-up mooring line initial position



LAMPIRAN B

(OUTPUT SOFTWARE)

1. Output Hydrostar

```
HydroStar

Congratulations! Felicitations! Parabens!
CPU time of operation was      2.34 seconds
Hstar>model>hview
Hstar>model>hstat

=====***** HydroStar For Experts V7.1 *****=====
-----x64-----<c>BV/DR 1991-2013-----

HStat - Hydrostatic-property computations.
Project: Mesh by AMG from input file : test
User :
Nb of bodies to be analysed      1
Nb symmetry of hull geometry     1
Nb panels on hulls              1087
Nb segments along waterlines     105
Nb panels over waterplanes       713
Nb panels over the free surface   0

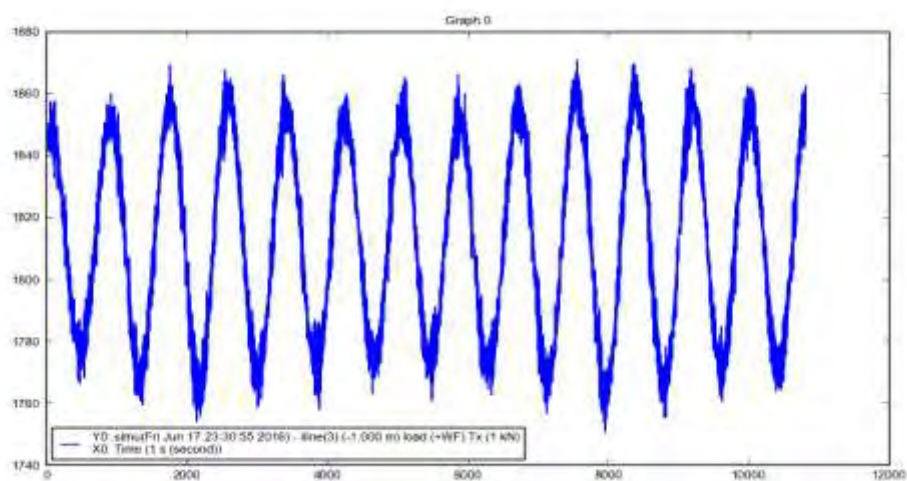
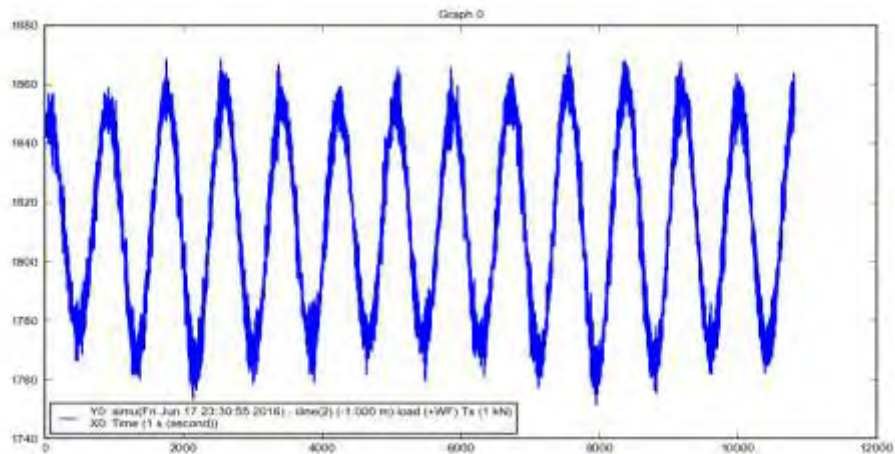
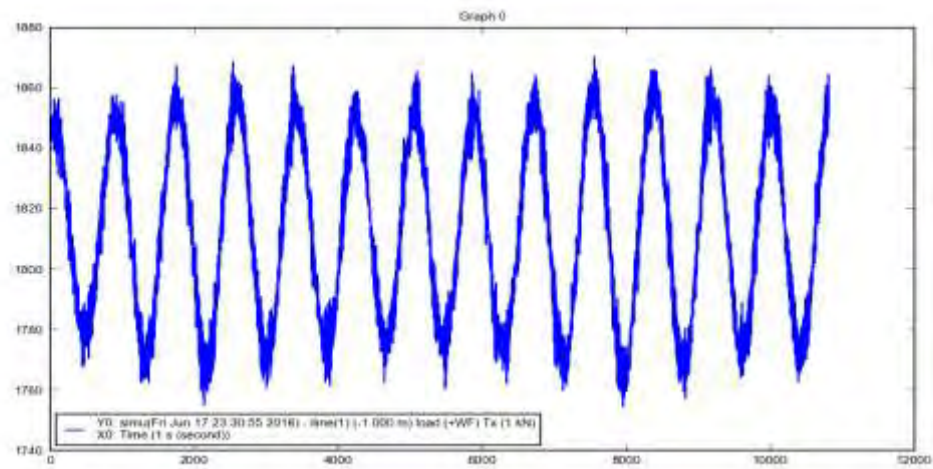
# Constants used in computations
# Reference length : 1.000
# Water density <rho> : 1025.000
# Gravity acceleration : 9.810

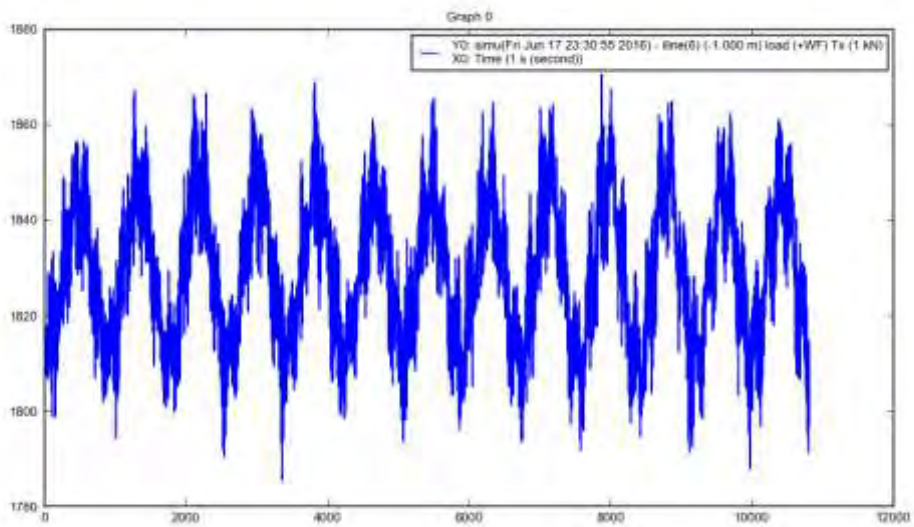
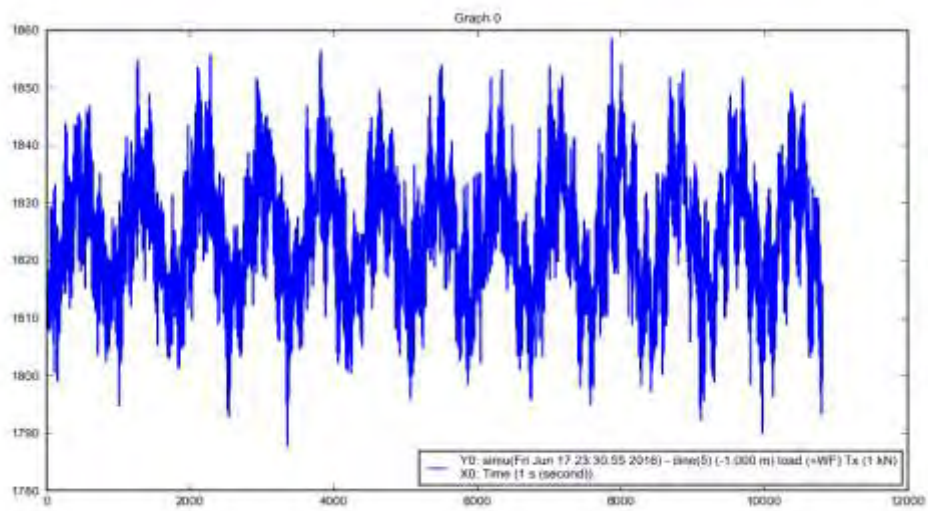
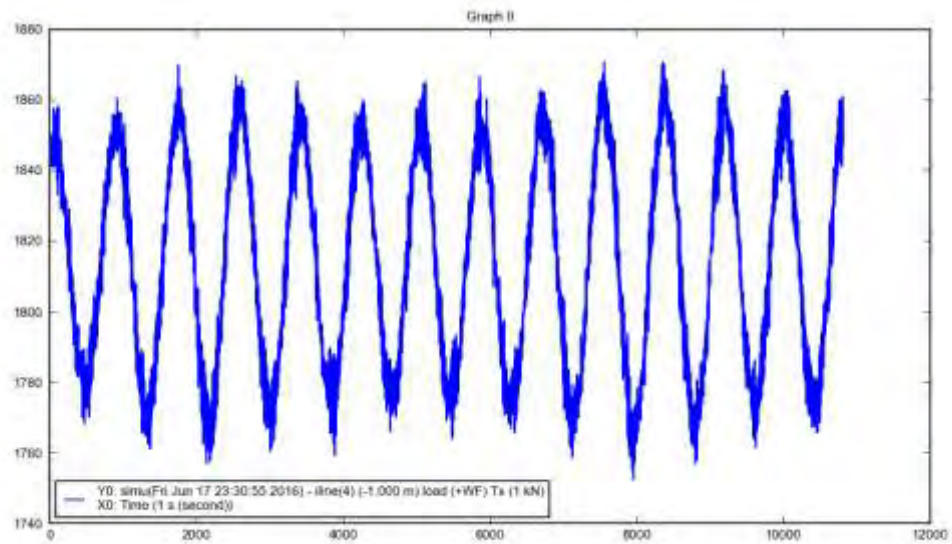
# BODY No.1
# REFERENCE POINT : < 158.845 0.000 -7.997>
# BUOYANT CENTER : < 158.845 0.000 -7.997>
# HULL VOLUME : 0.42872E+06 m*m*m
# HULL SURFACE : 0.40054E+05 m*m

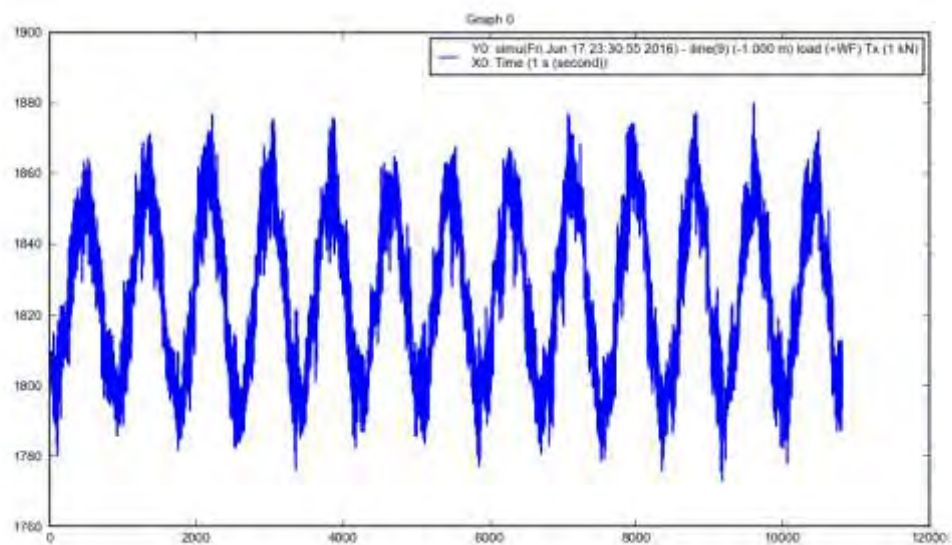
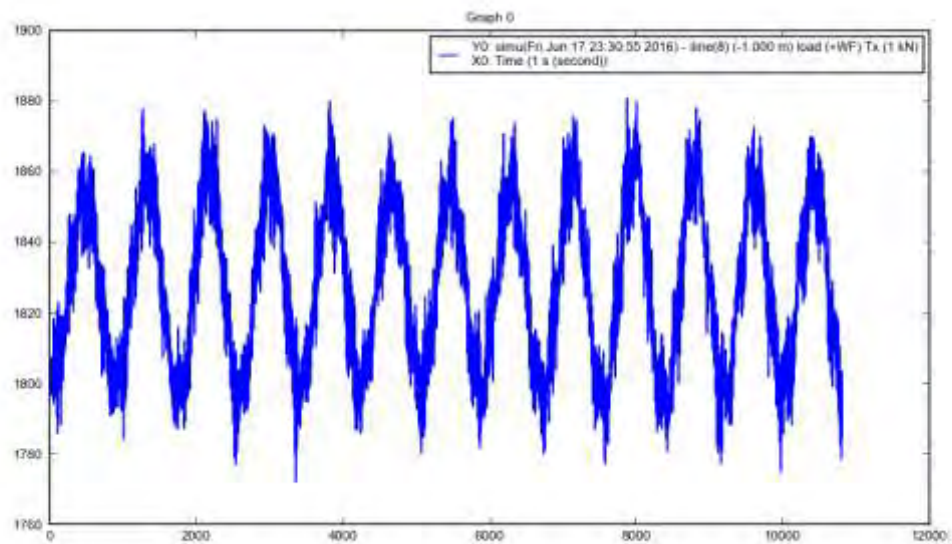
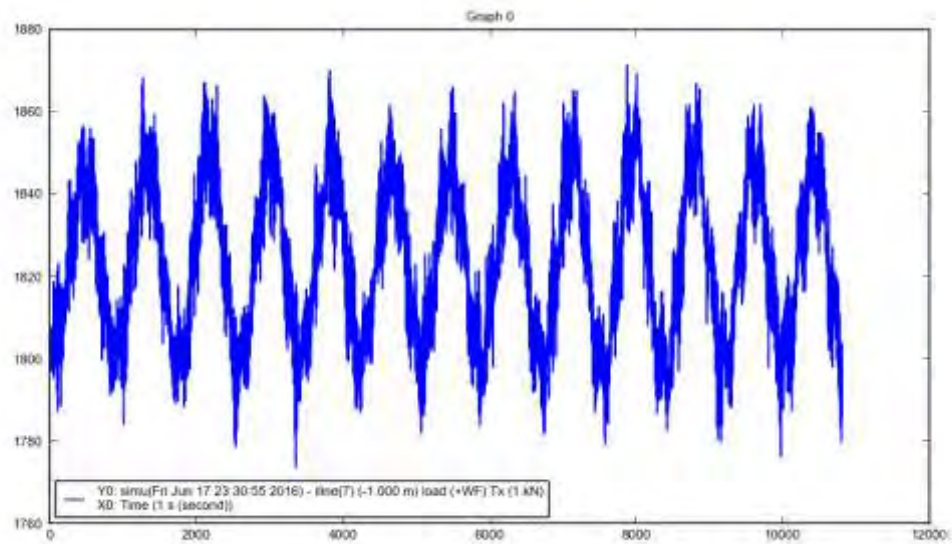
# WATERPLANE AREA : 0.27806E+05 m*m
# Ctre : < 153.935 0.000>
# Ixx : 0.11136E+08 BMxx 25.97500
# Ixy : 0.00000E+00 BMxy 0.00000
# Iyy : 0.36721E+09 BMyy 856.54367
Hstar>model>
```

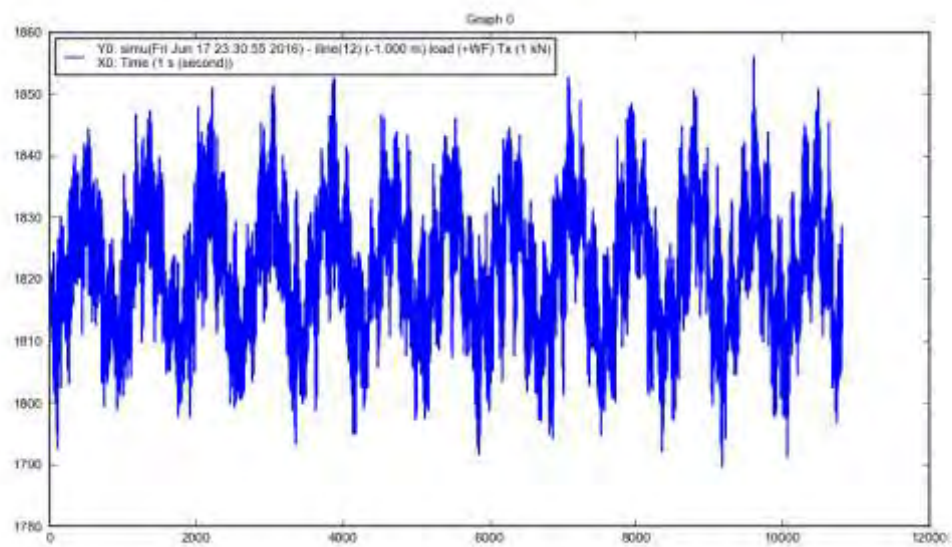
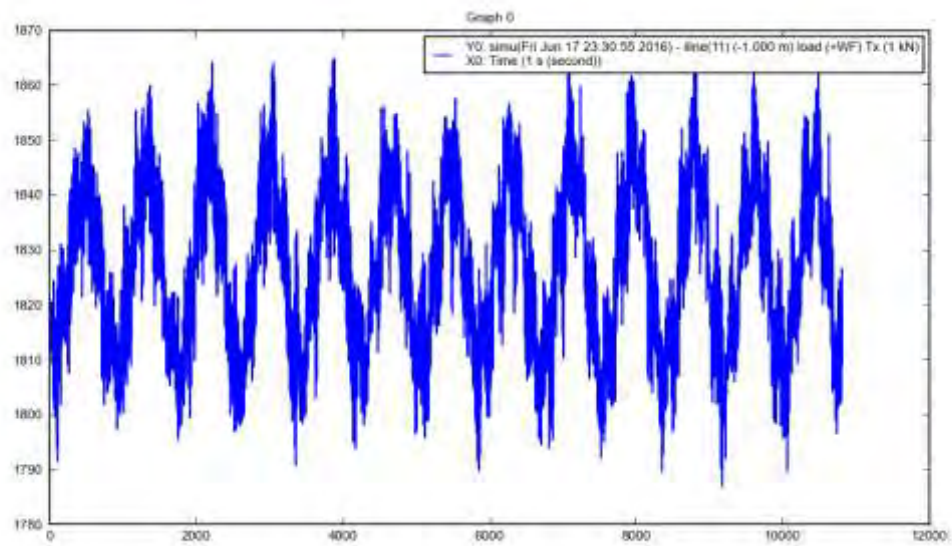
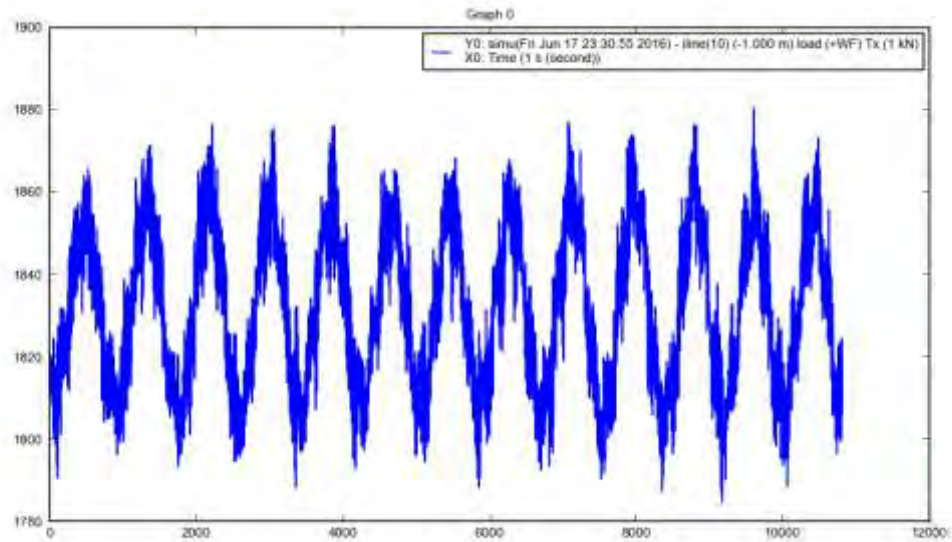
2. Output Ariane8

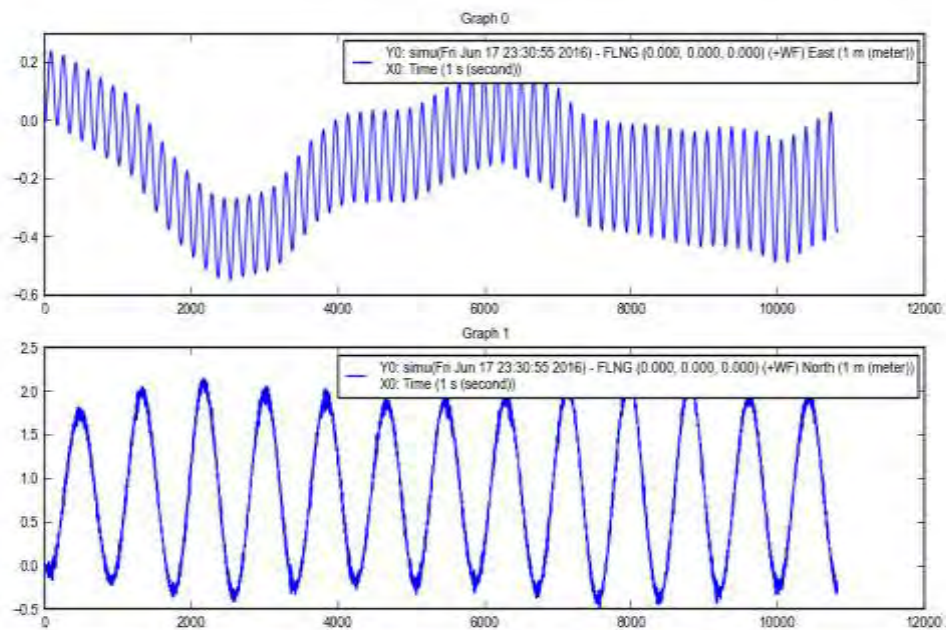
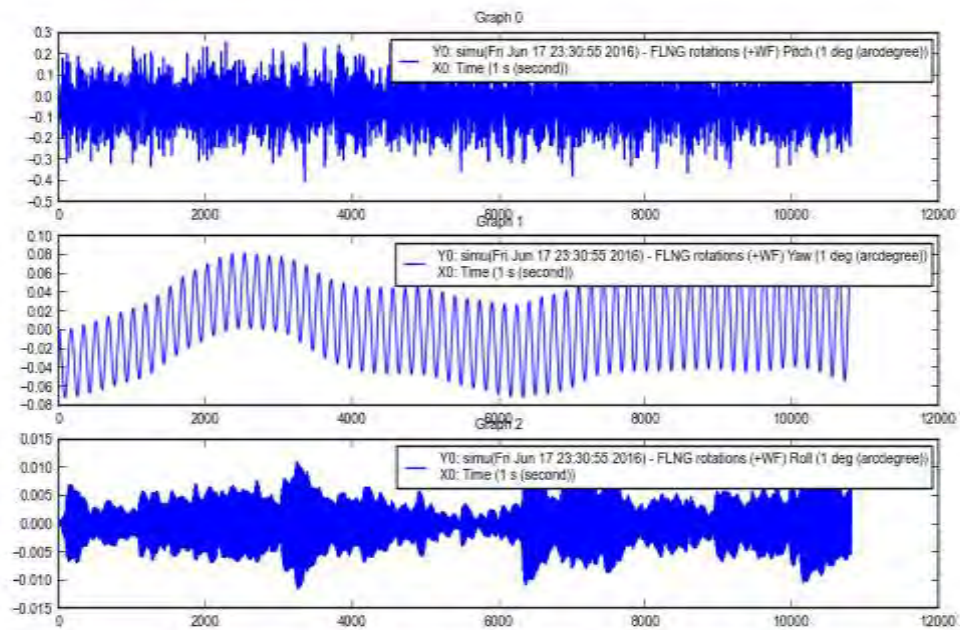
2.1 Grafik *tension*, *motion* dan *offset external turret collinear* 26m



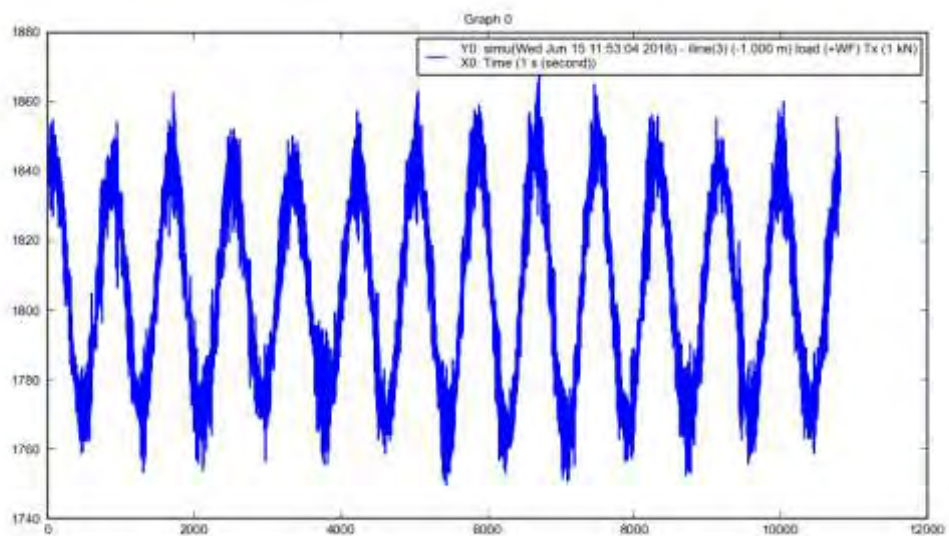
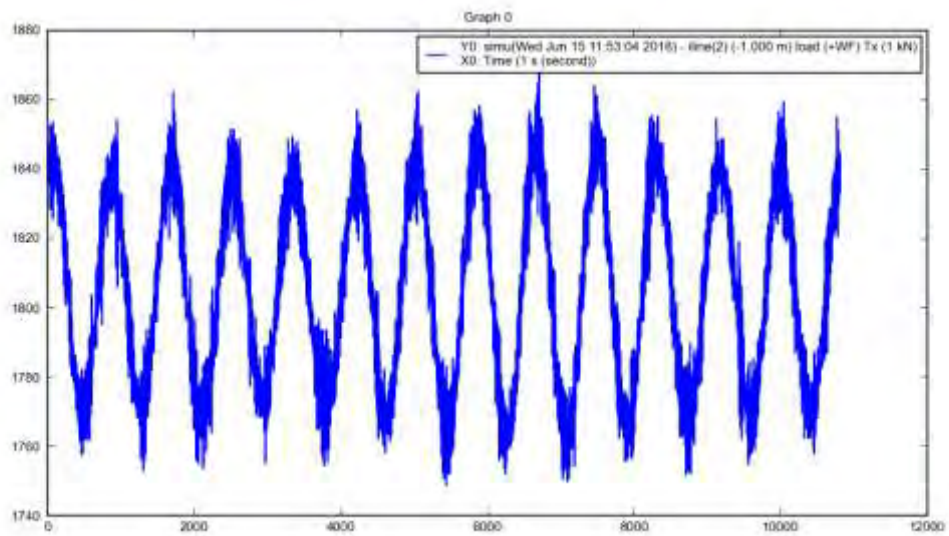
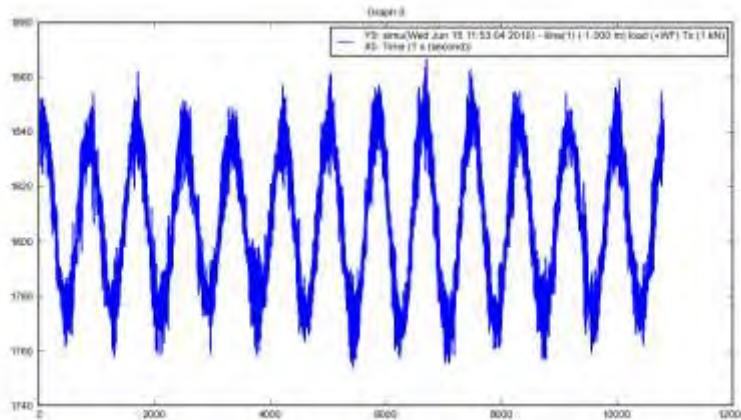


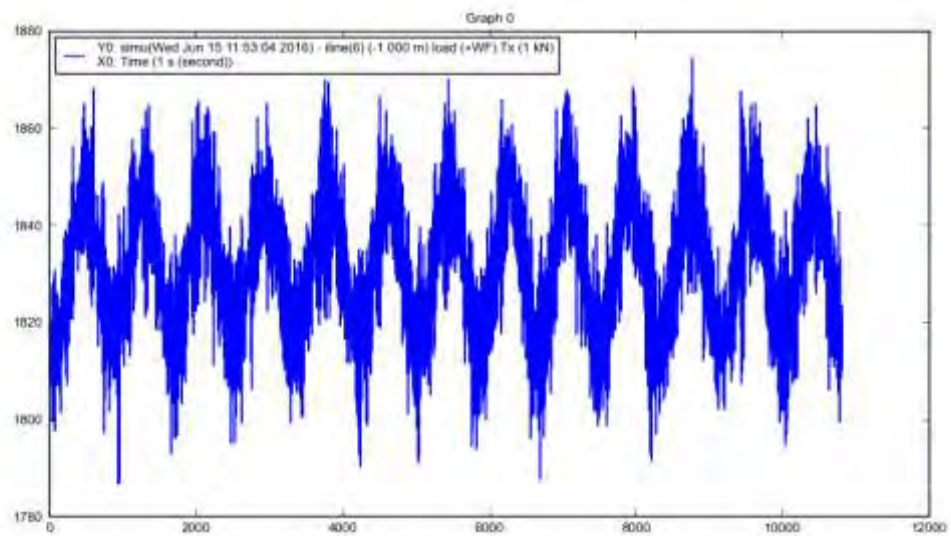
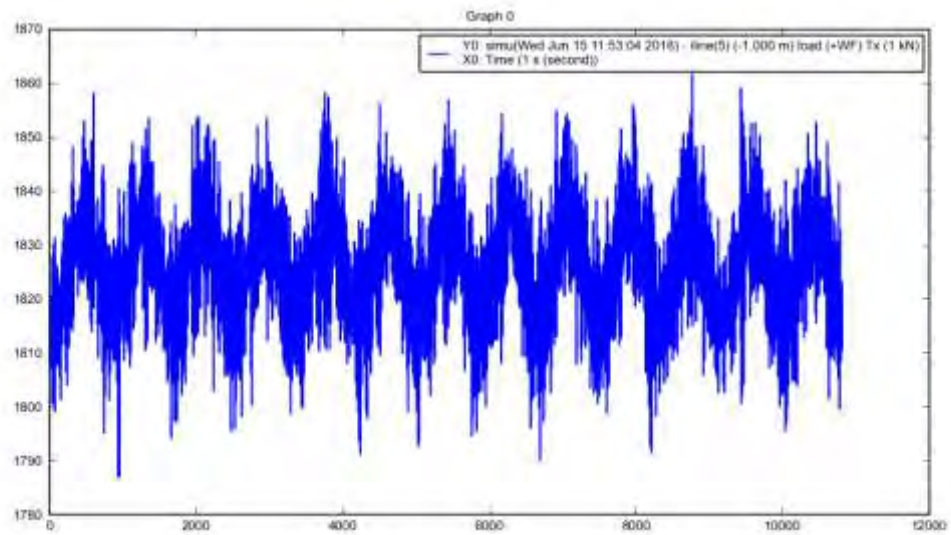
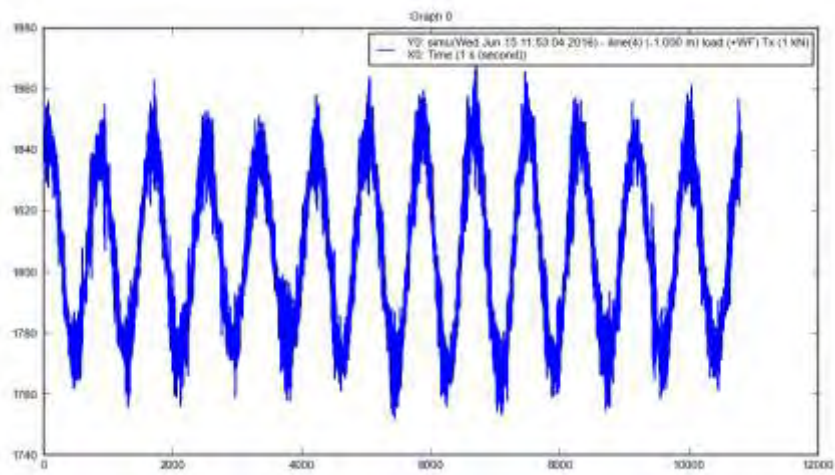


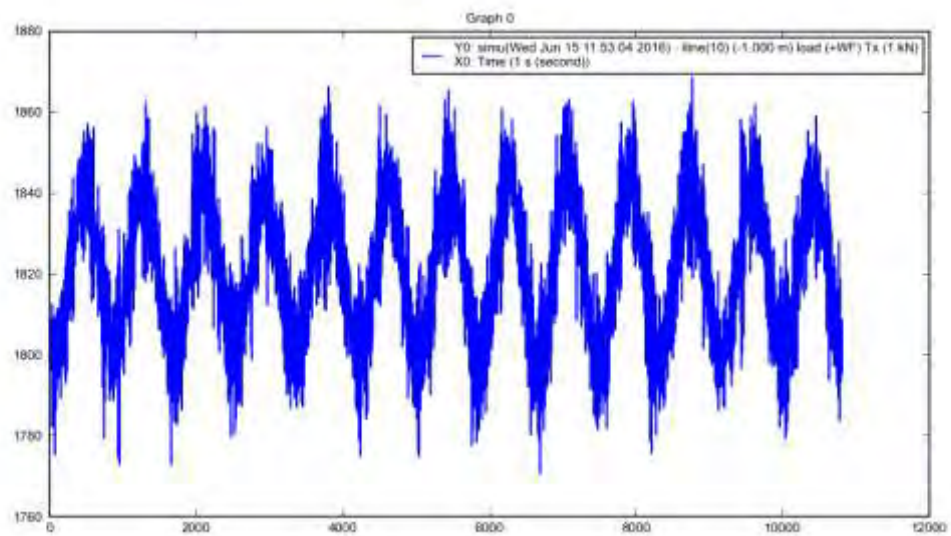
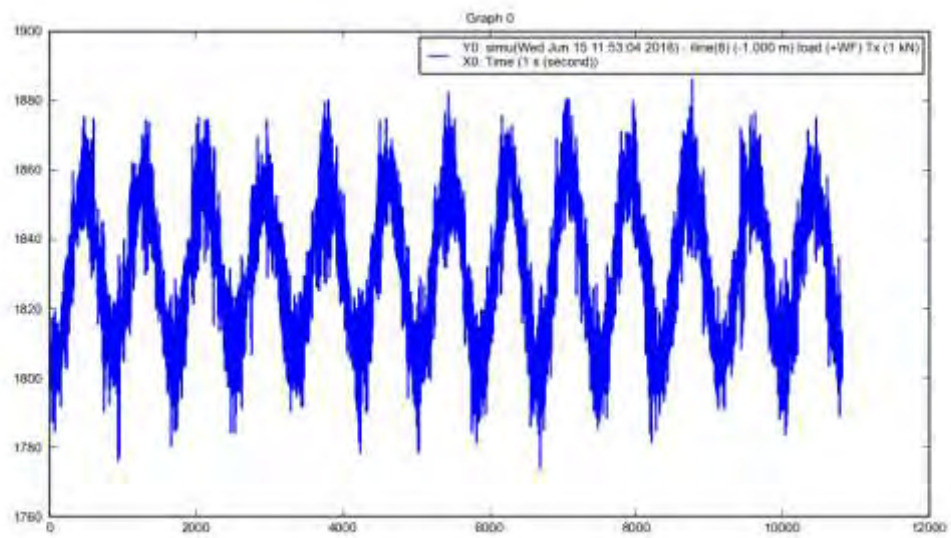
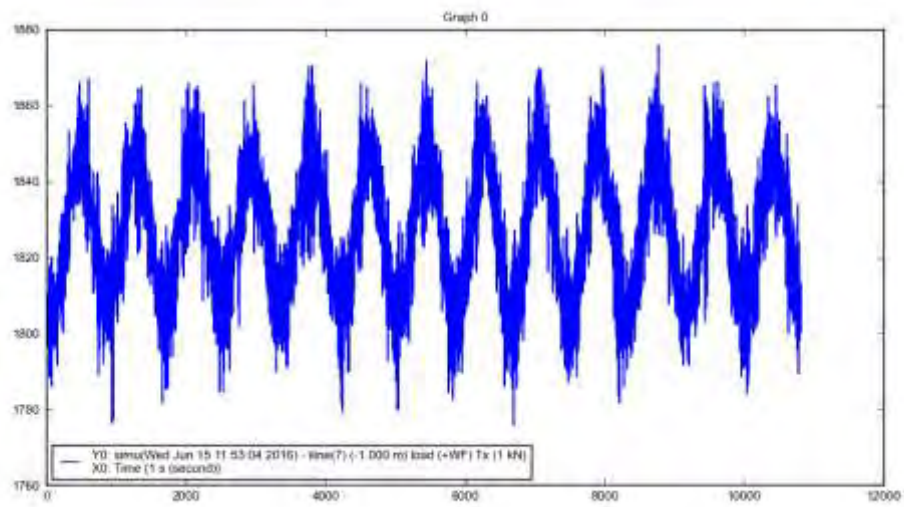


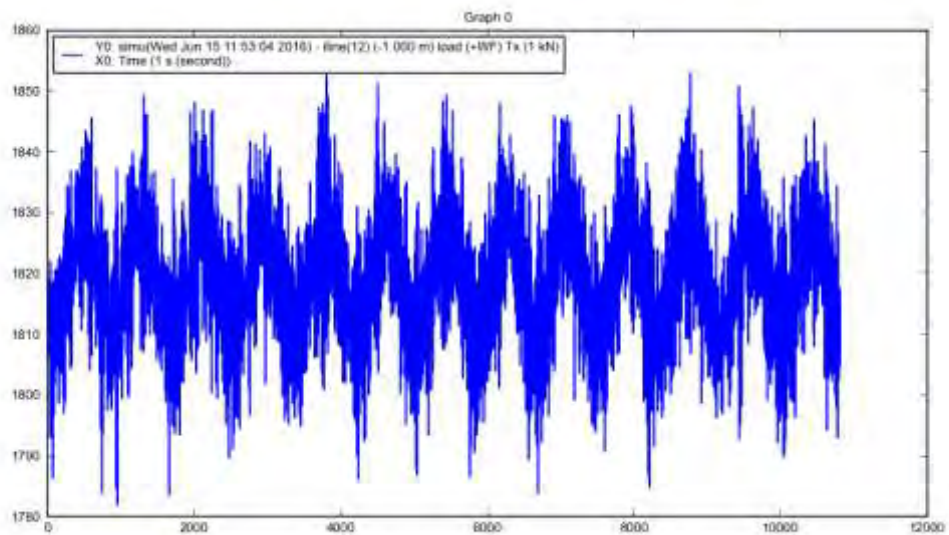
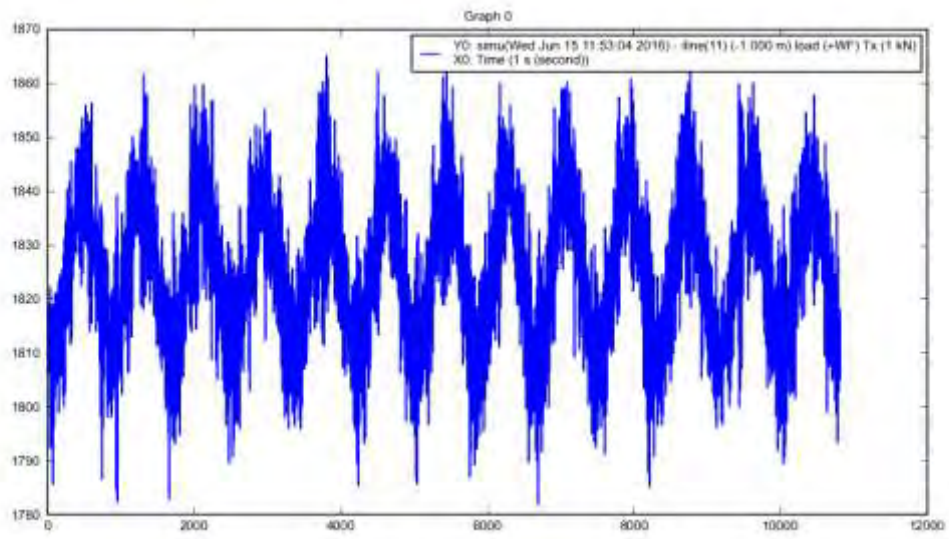
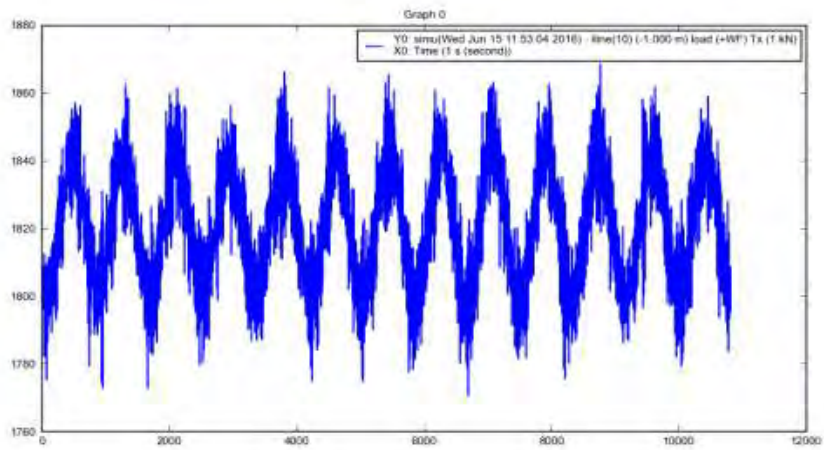


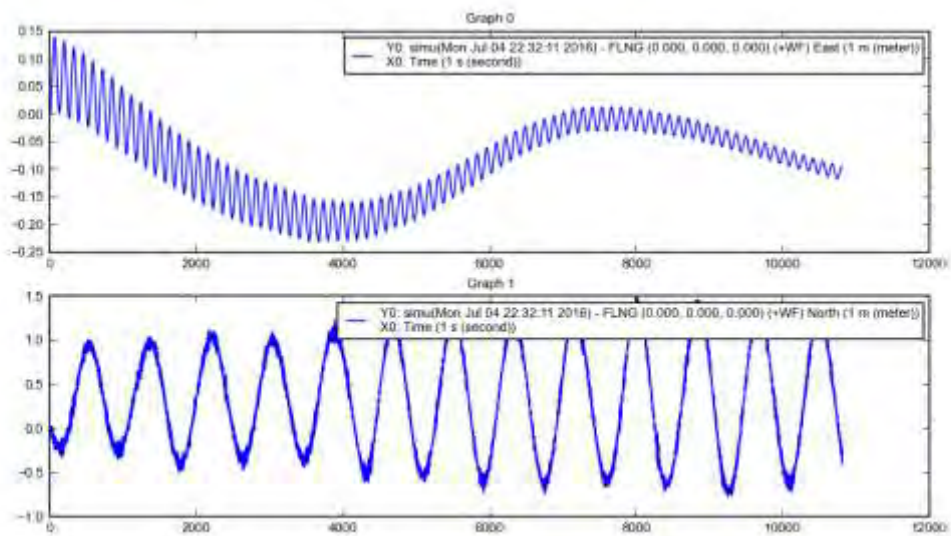
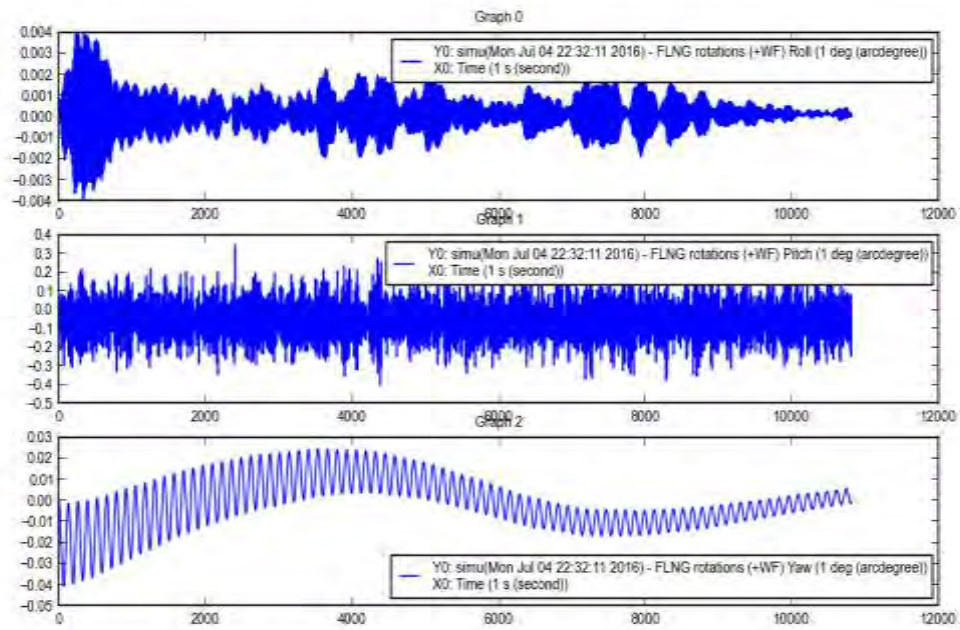
2.2 Grafik *tension*, *motion* dan *offset internal turret collinear* 26m



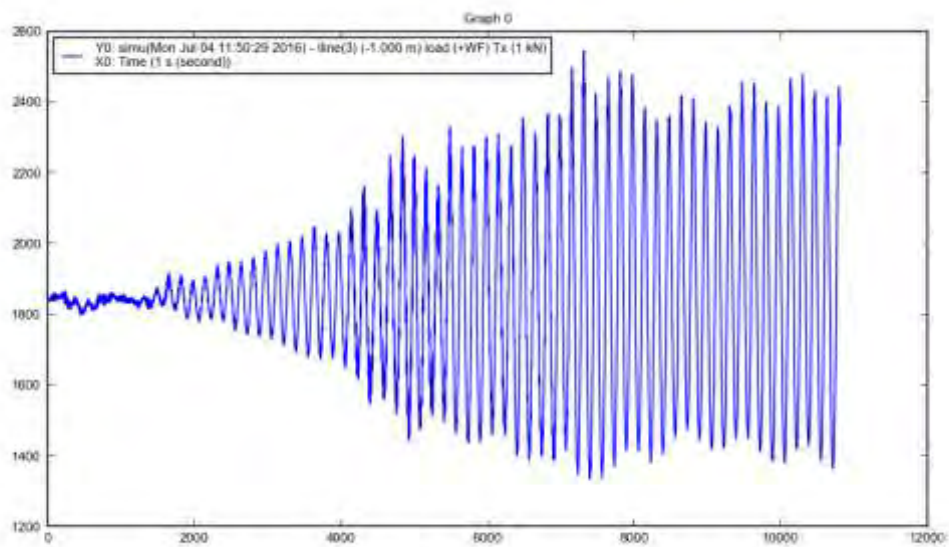
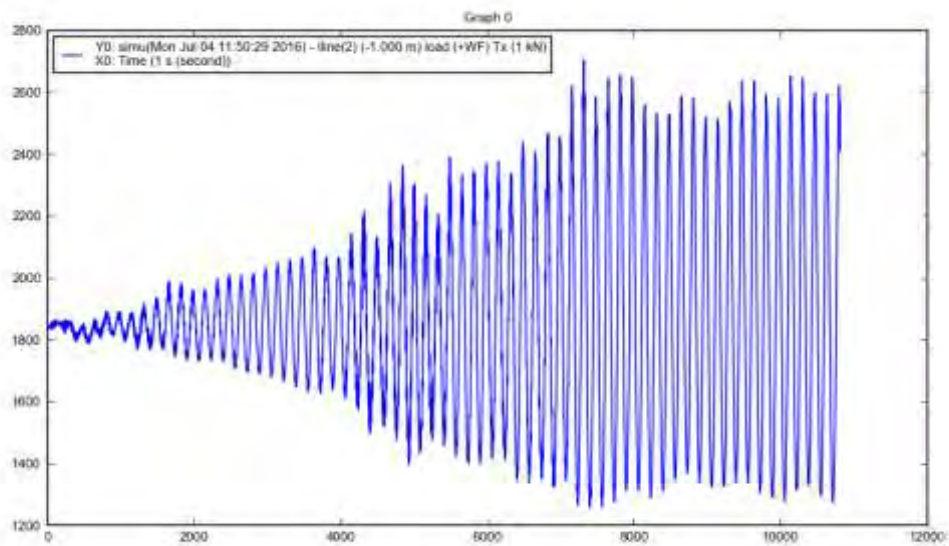
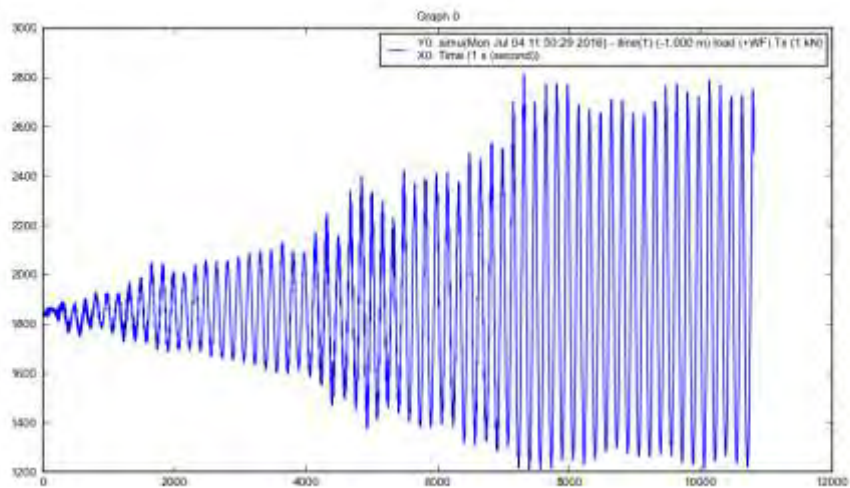


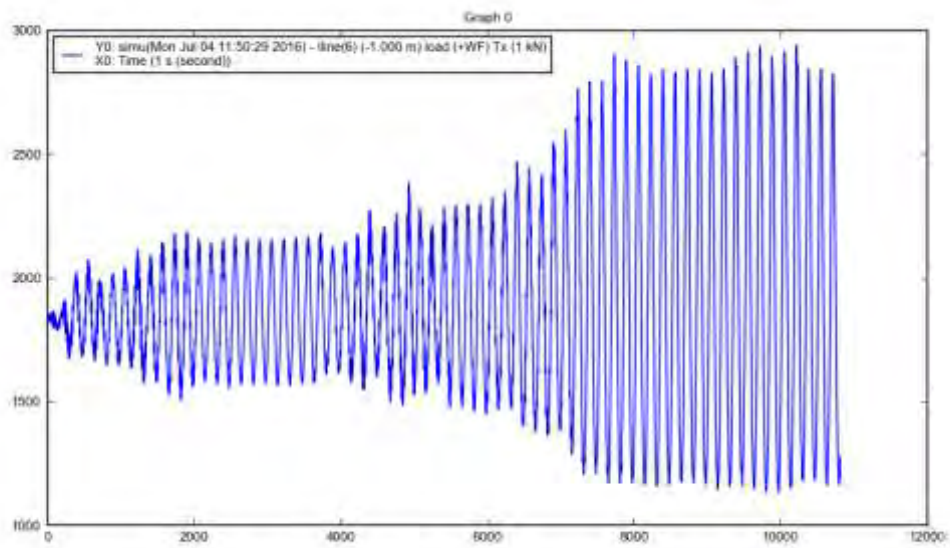
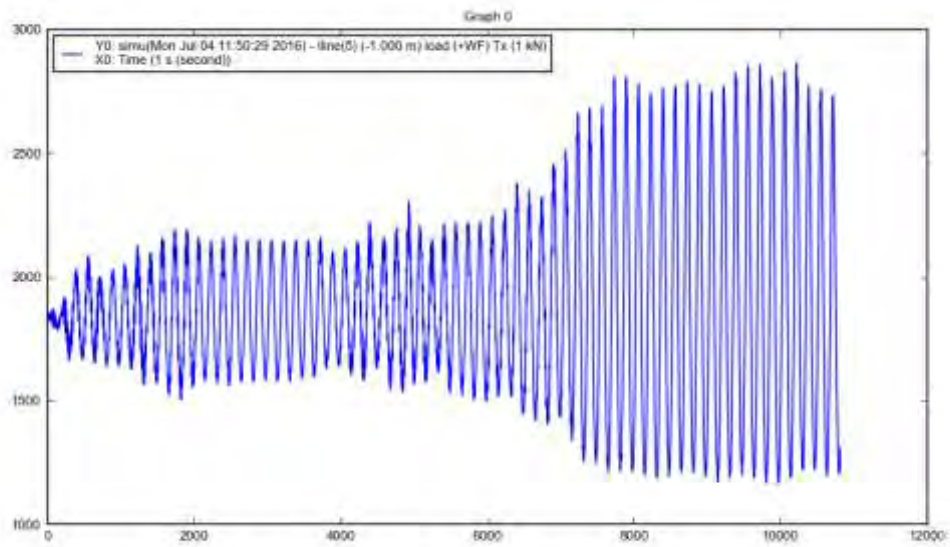
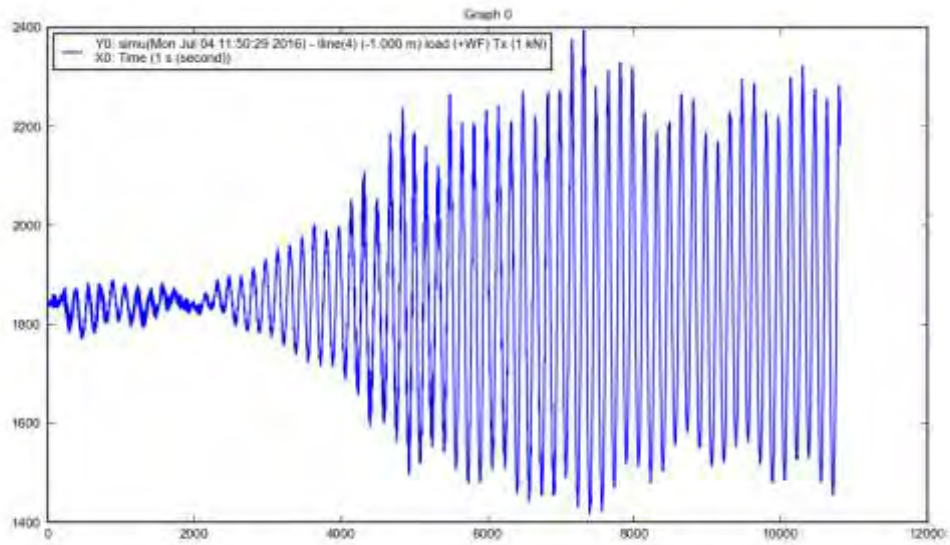


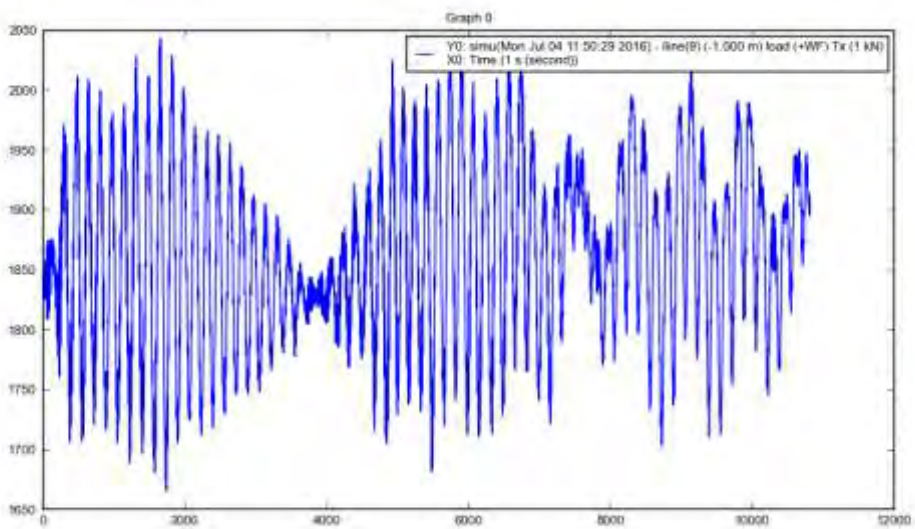
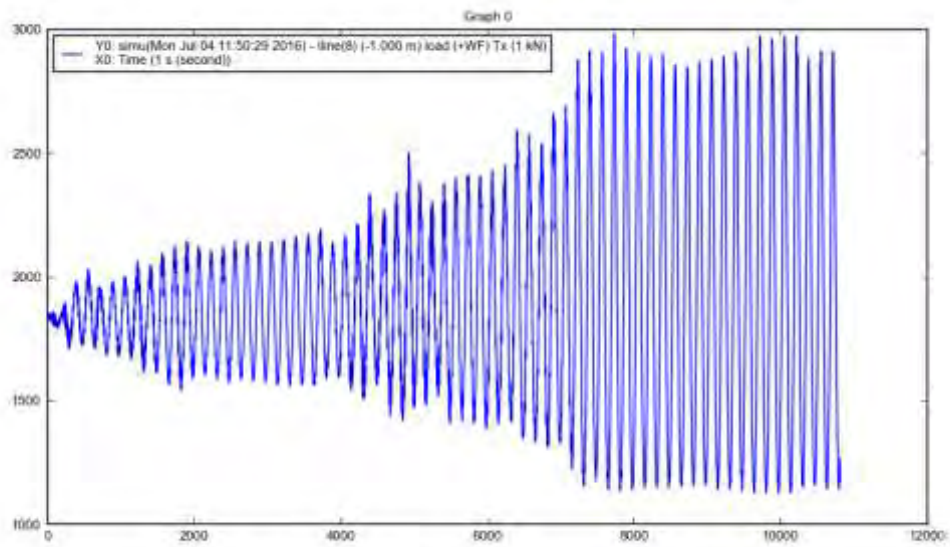
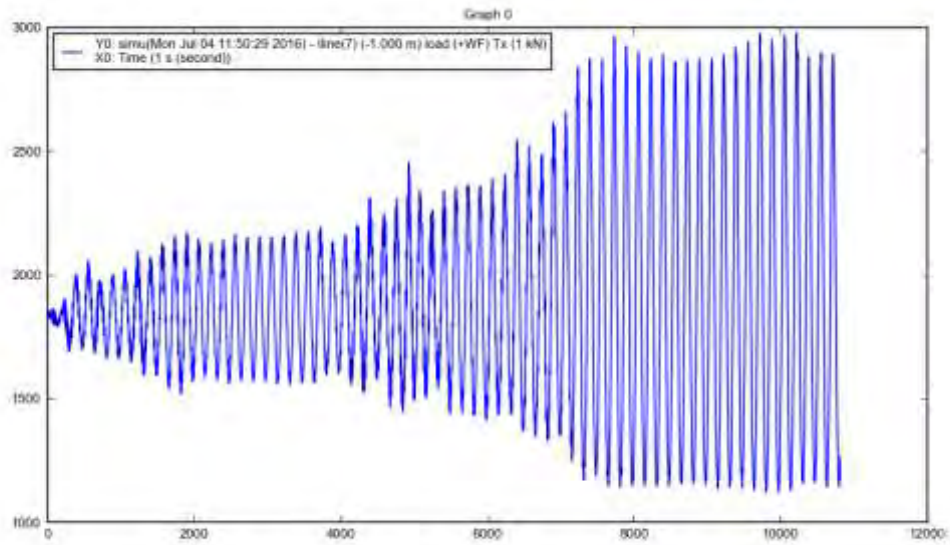


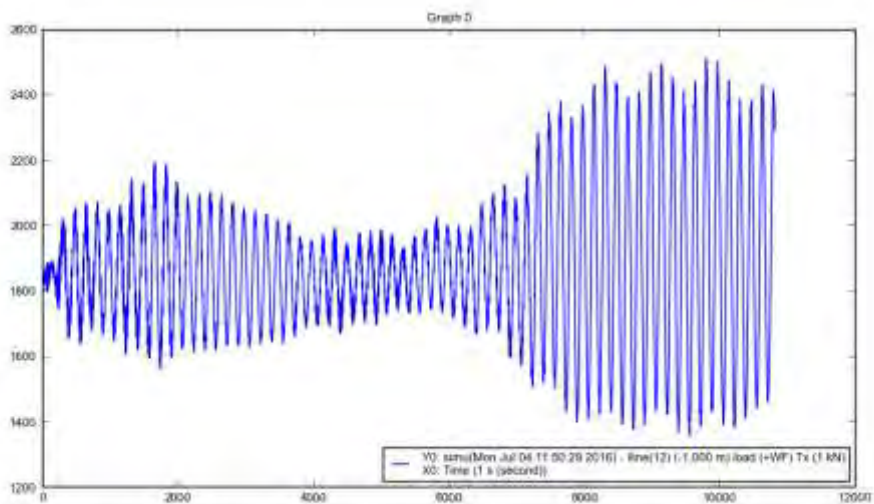
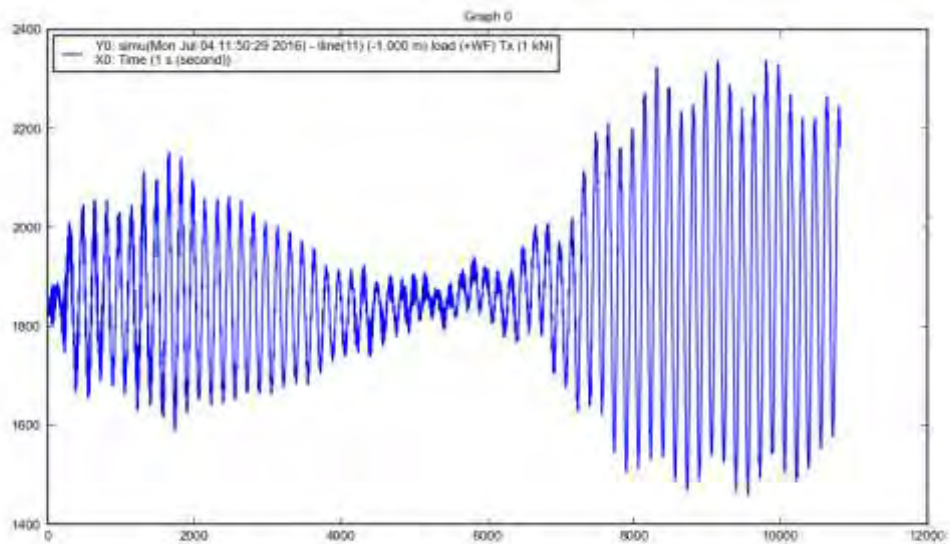
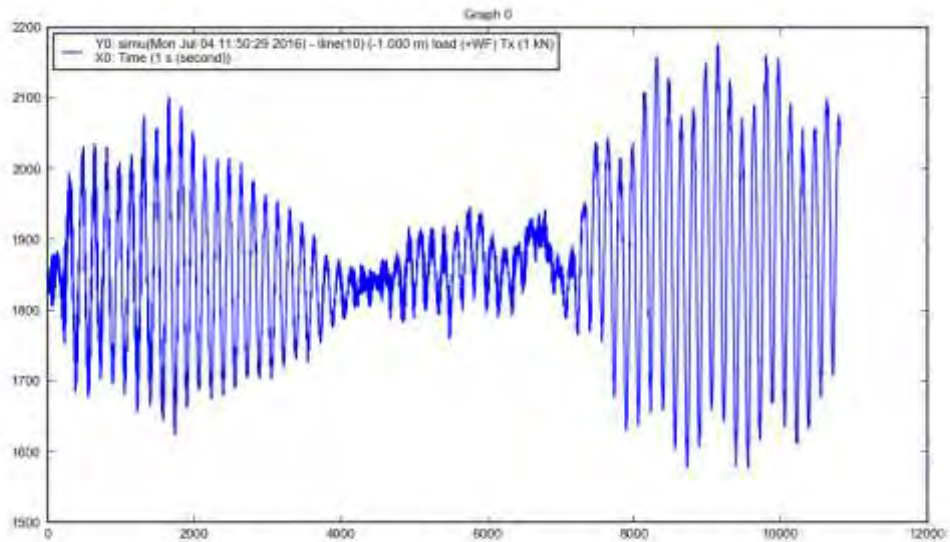


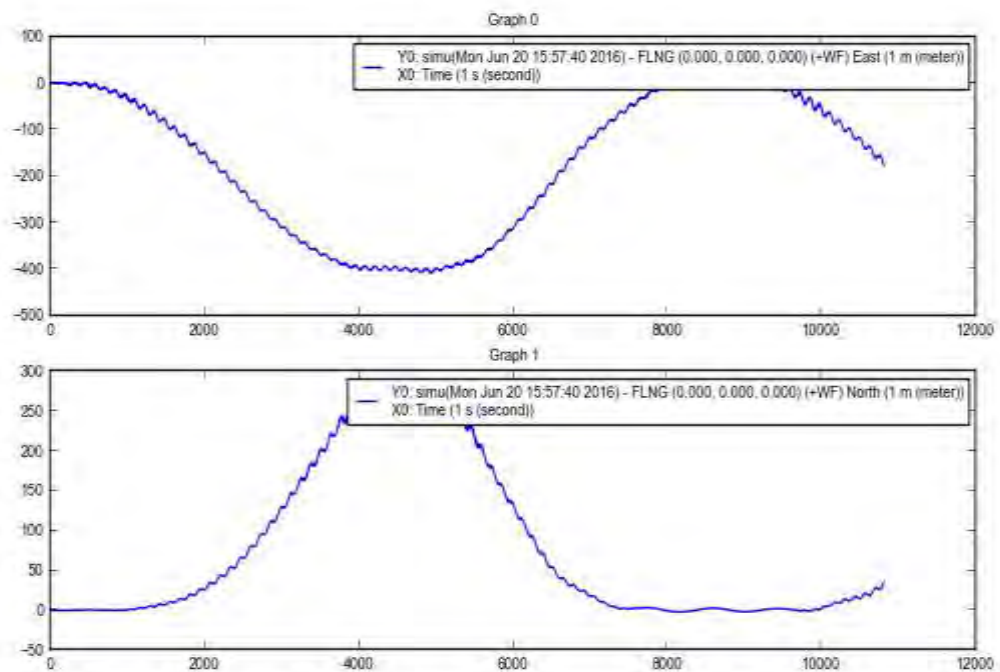
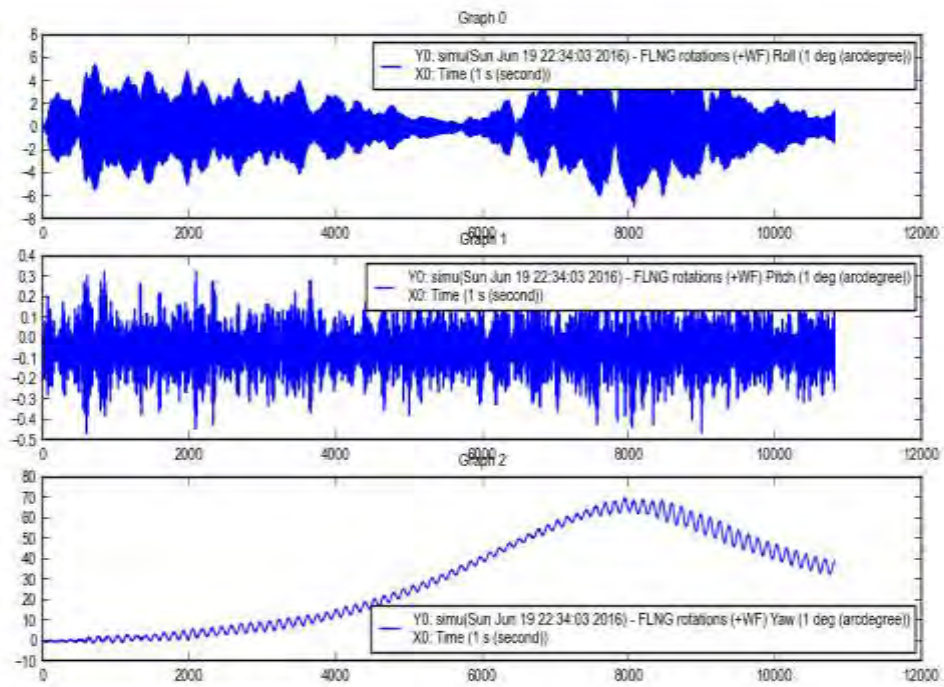
2.3 Grafik *tension*, *motion* dan *offset external turret non-collinear 26m*



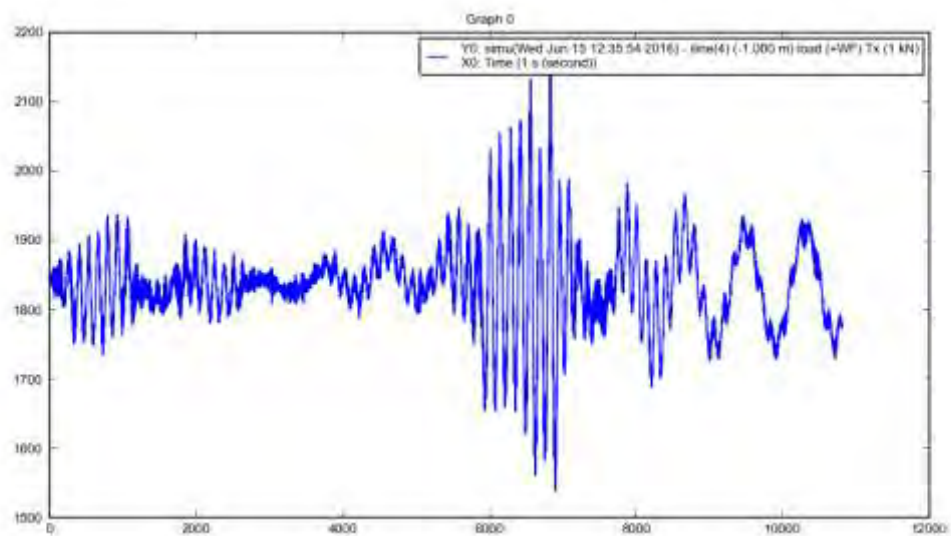
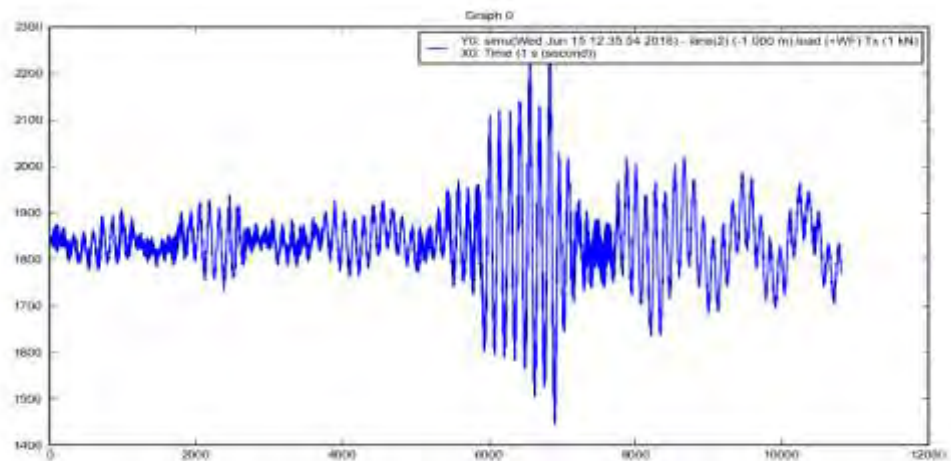
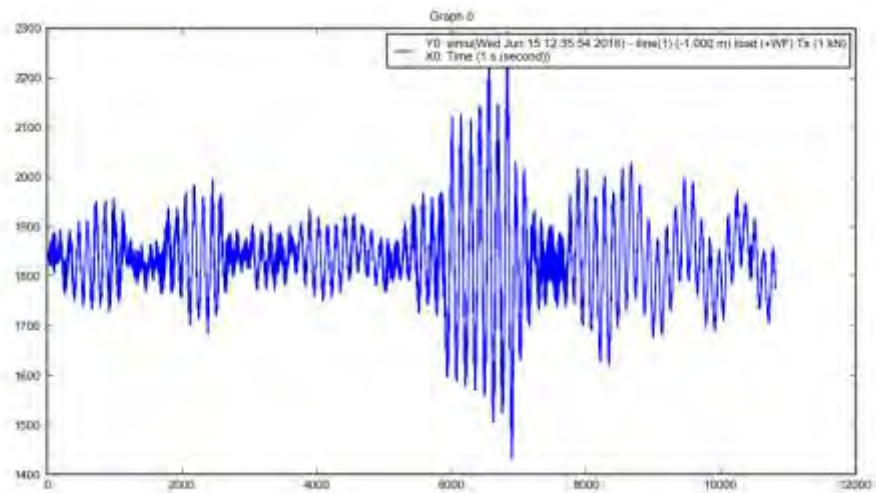


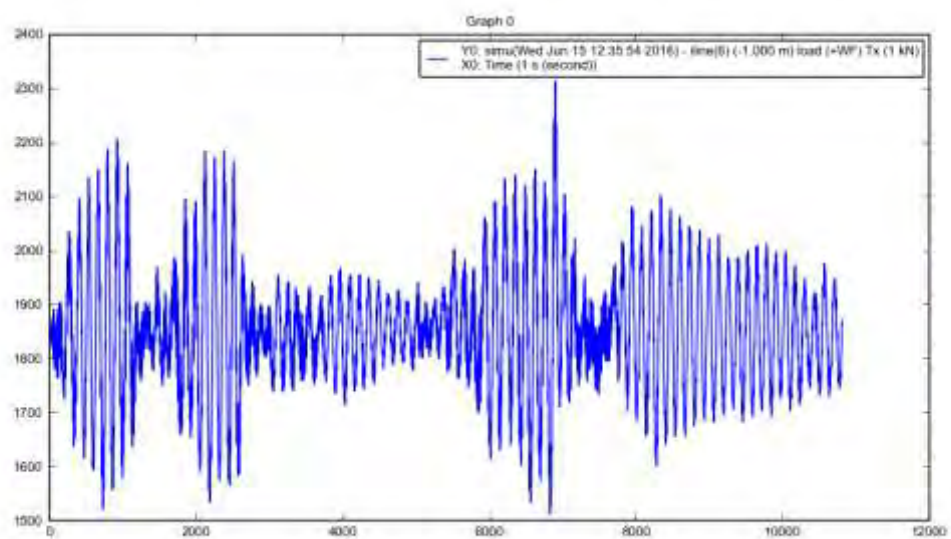
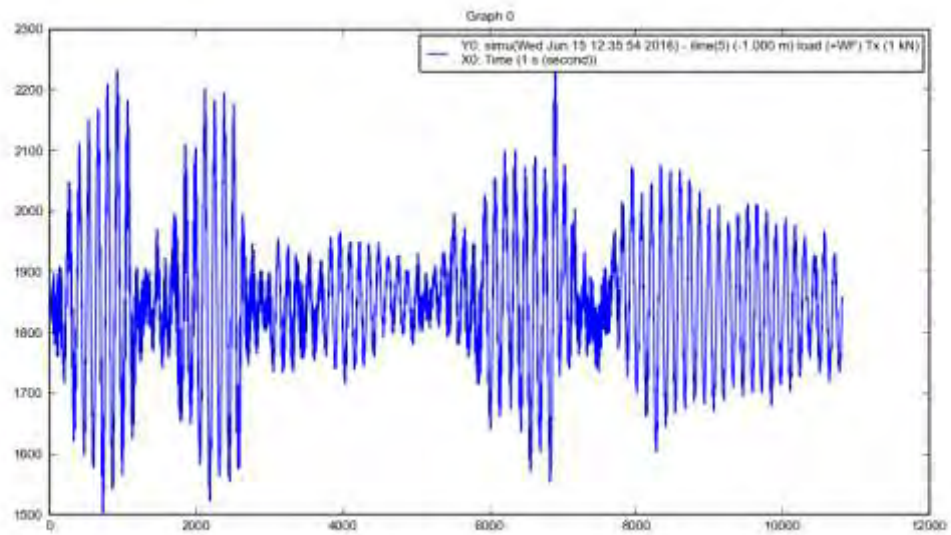
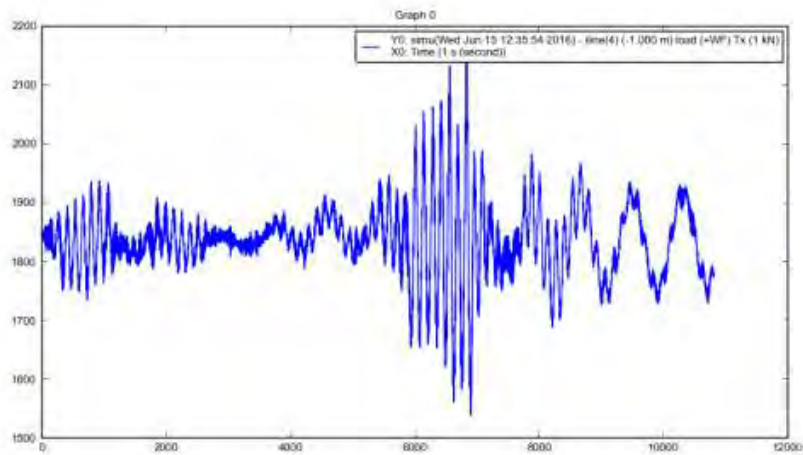


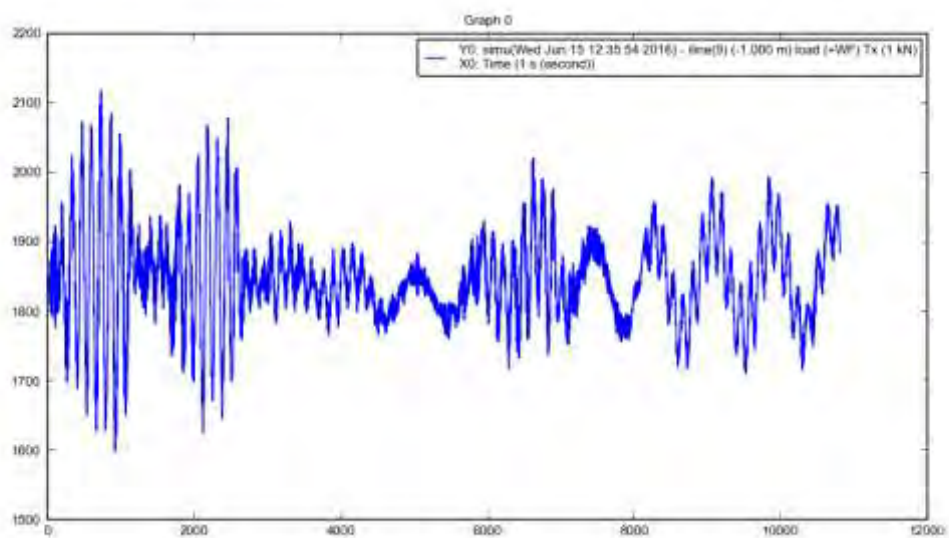
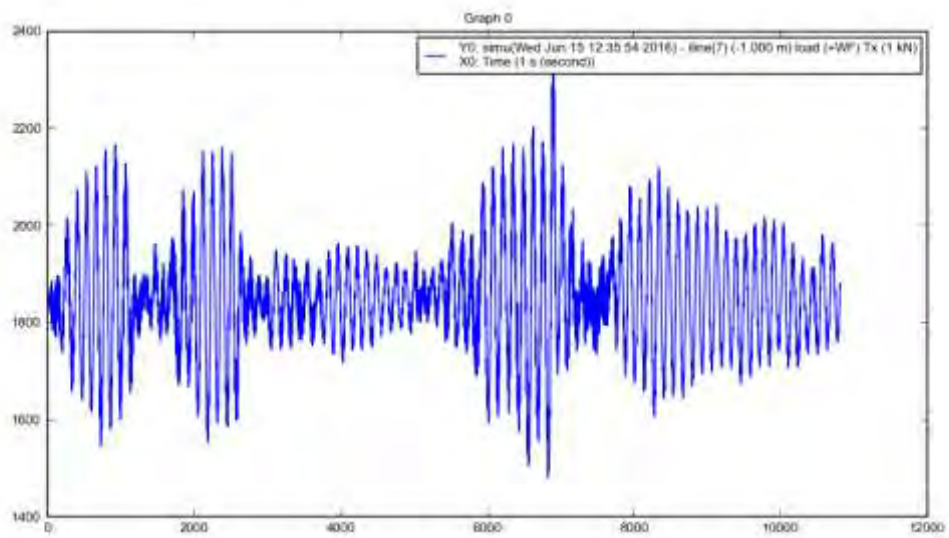
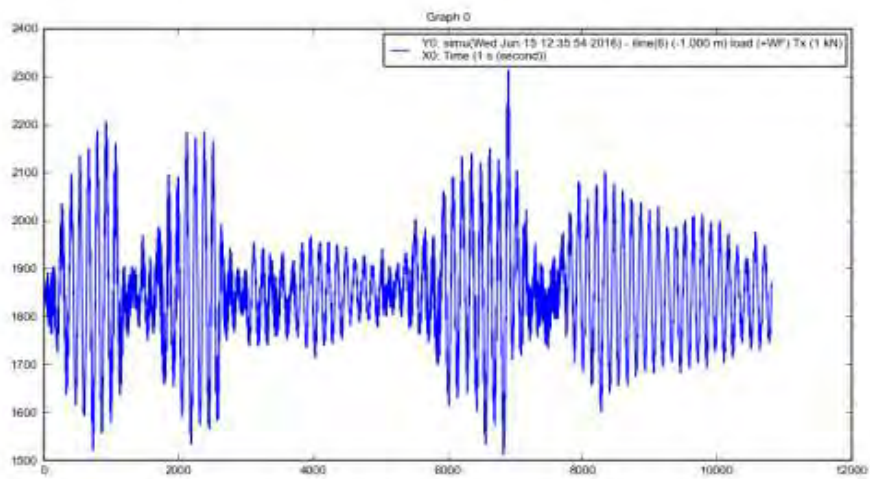


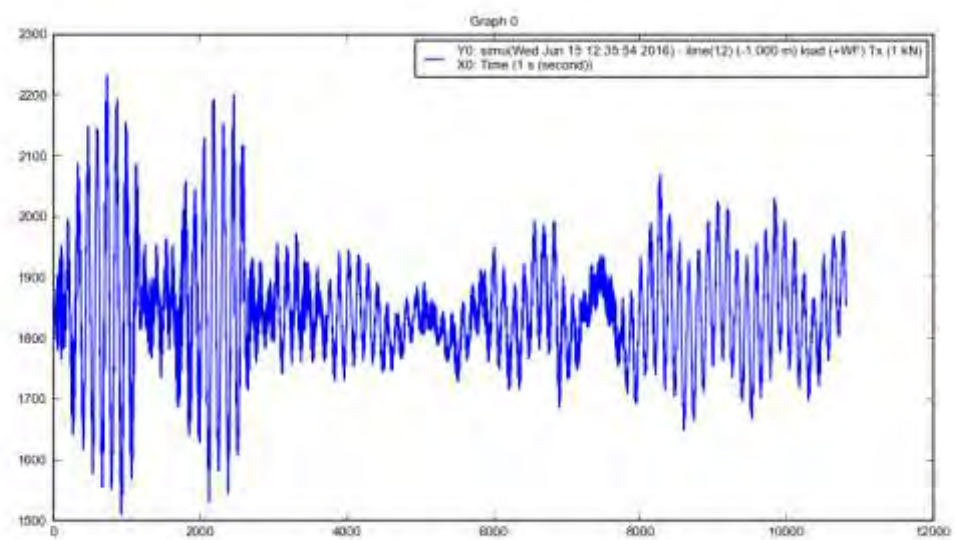
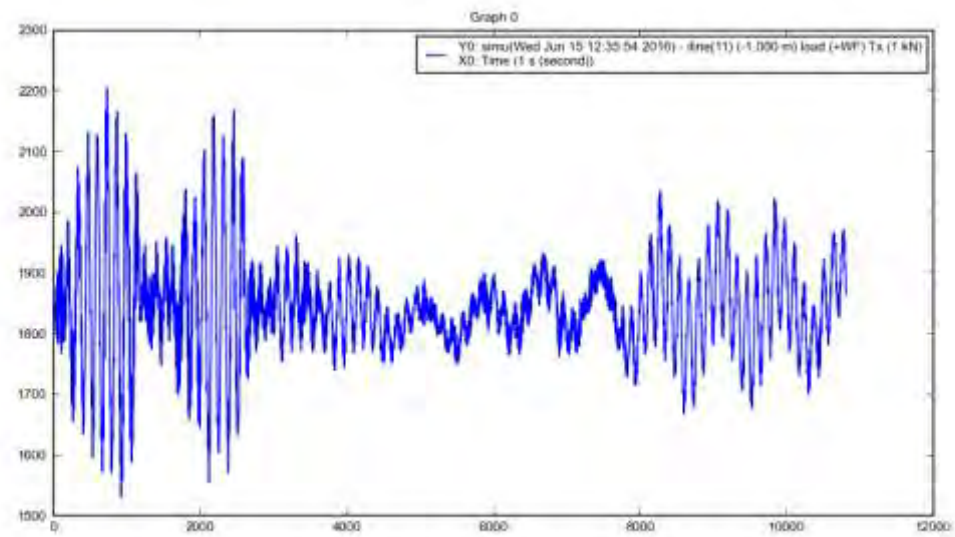
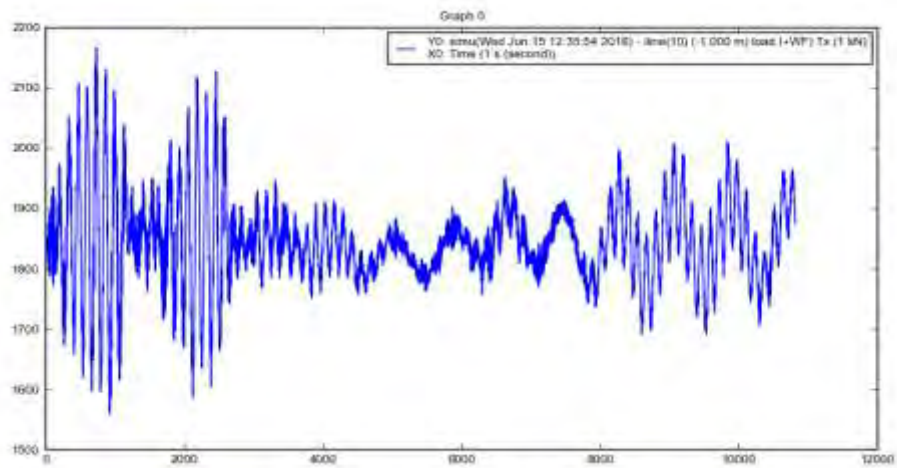


2.4 Grafik *tension*, *motion* dan *offset internal turret non-collinear 26m*

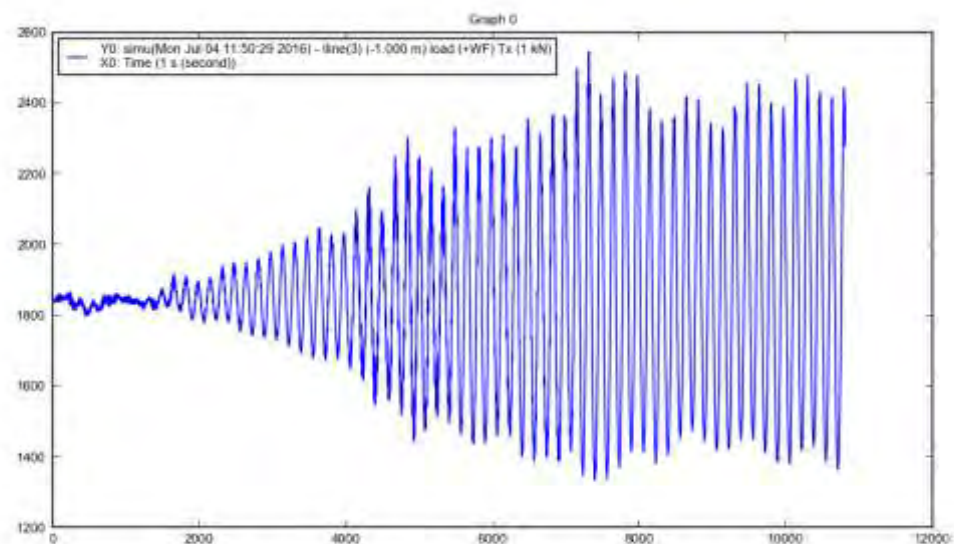
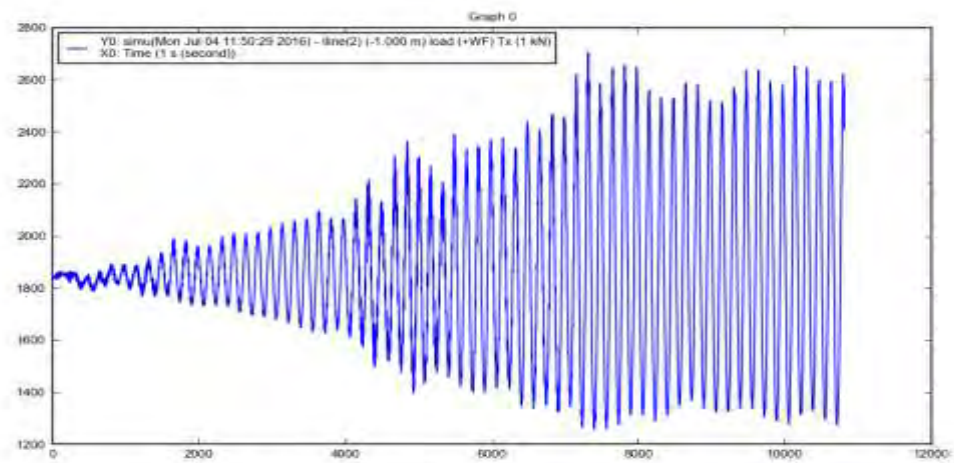
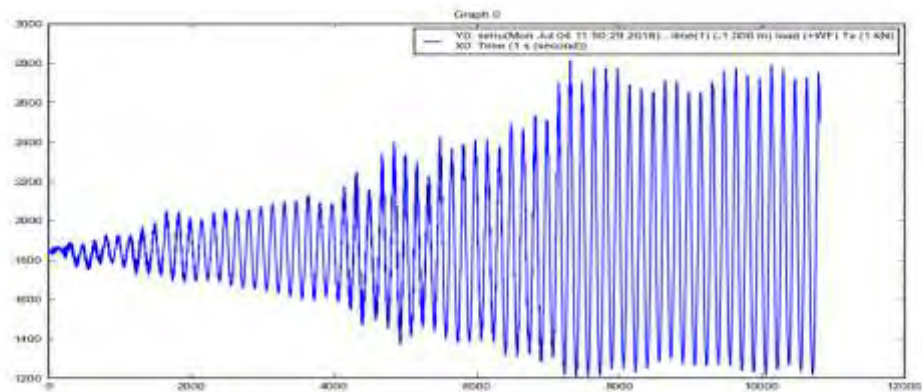


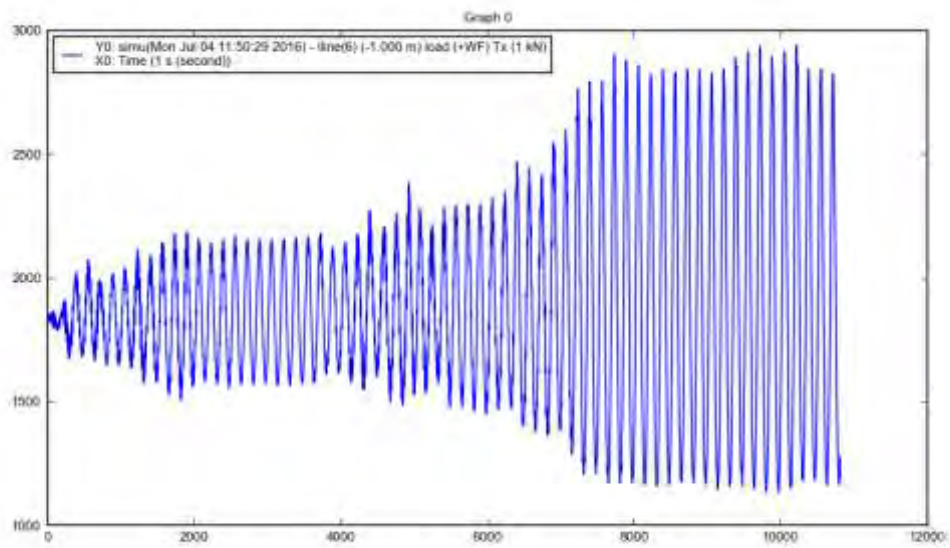
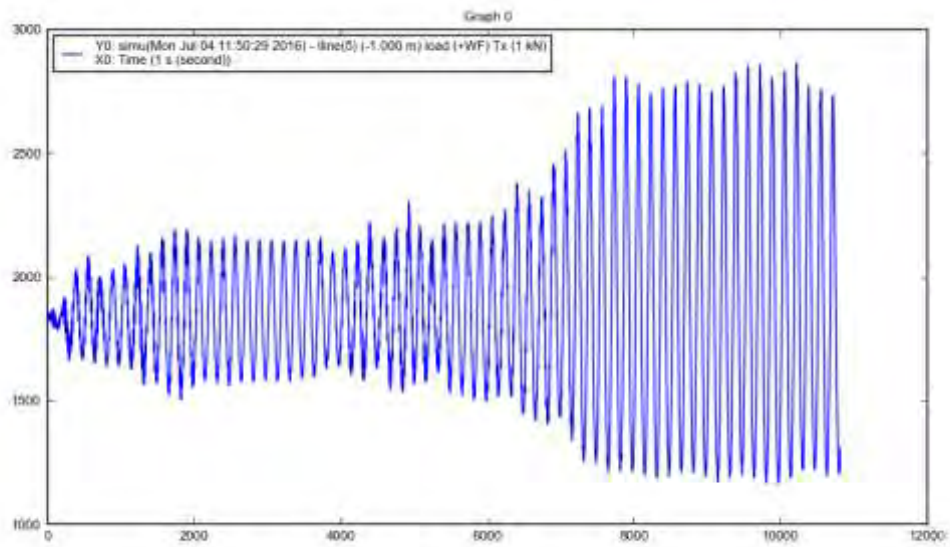
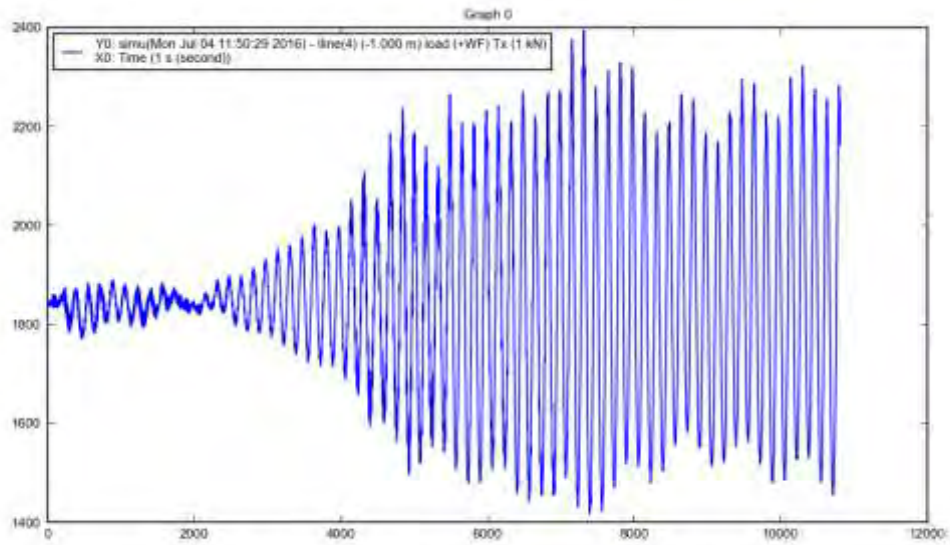


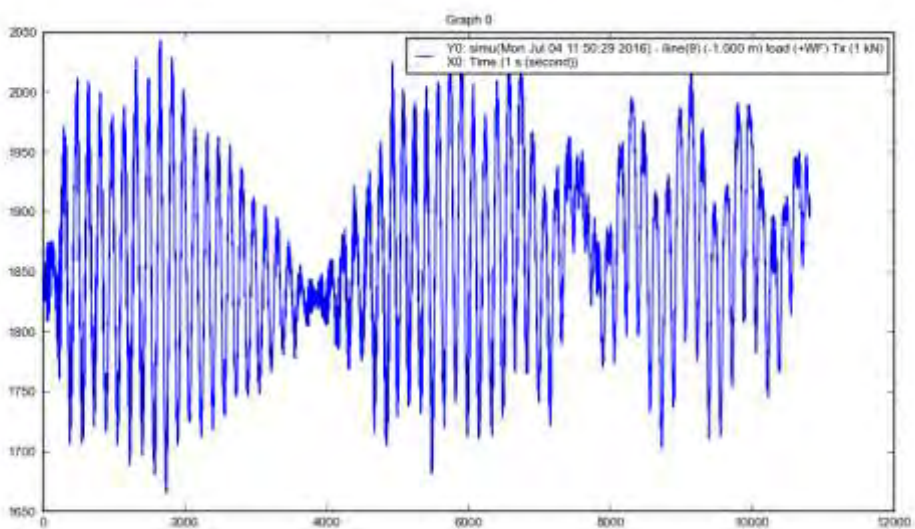
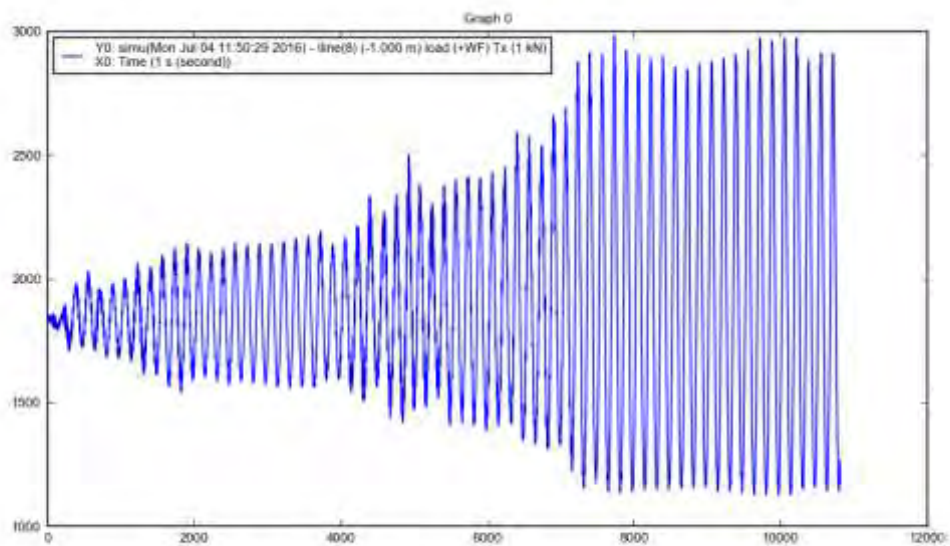
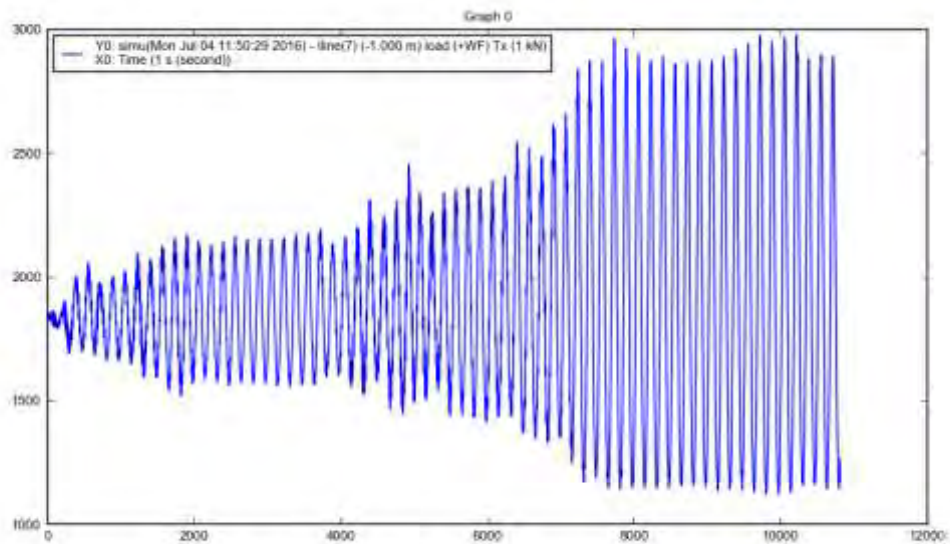


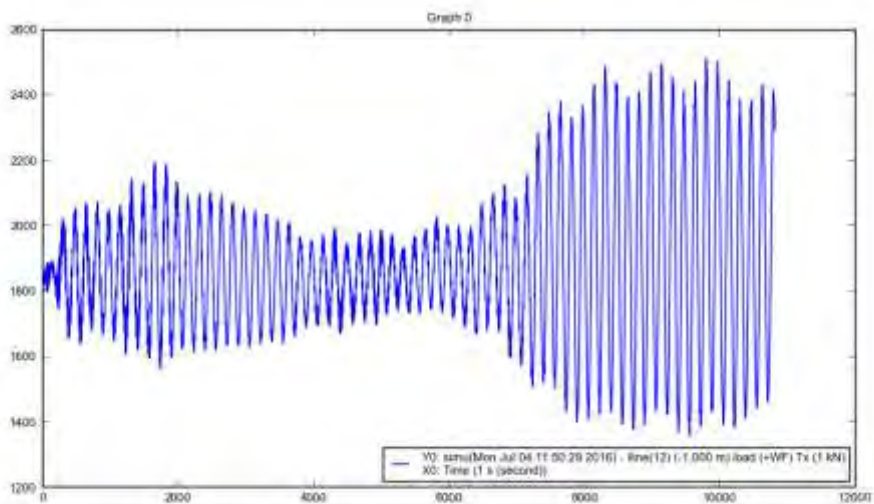
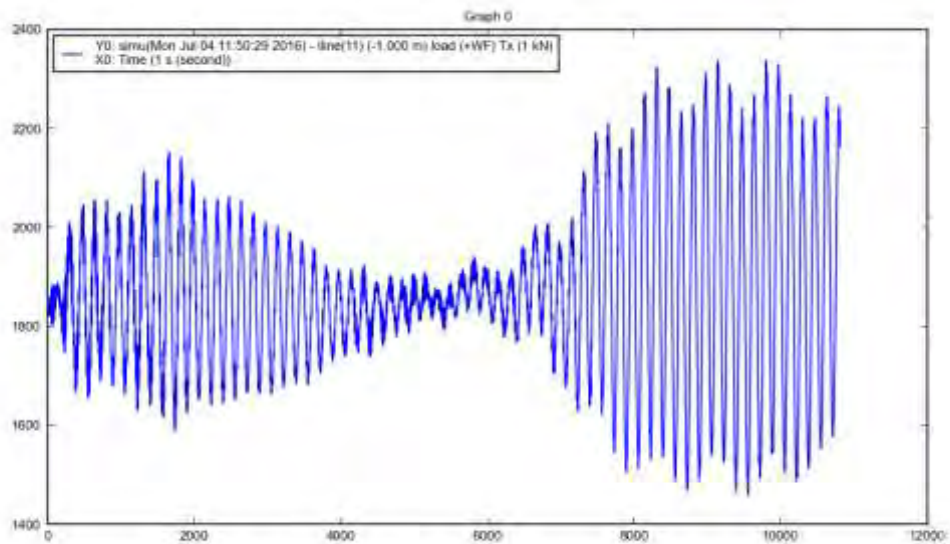
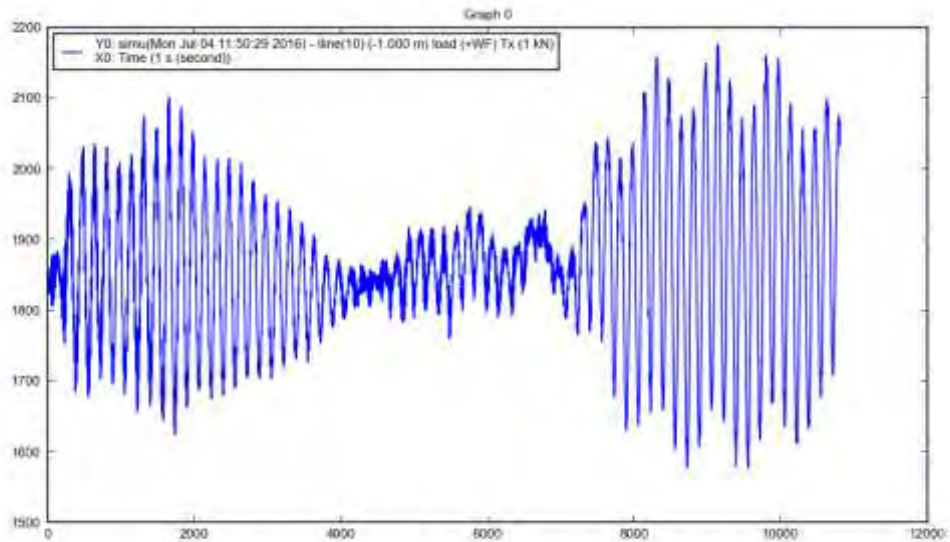


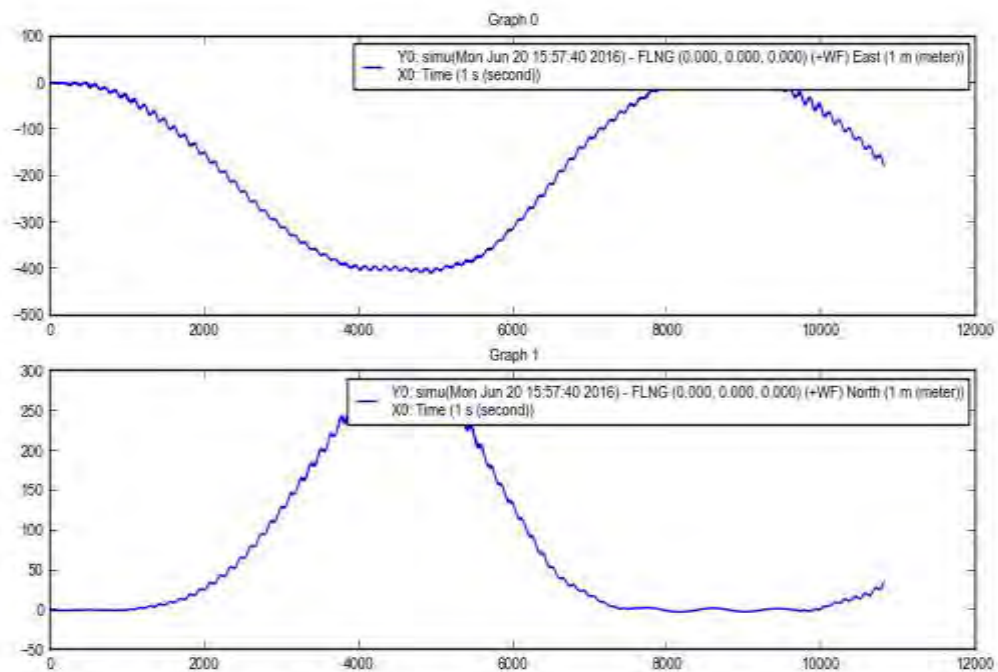
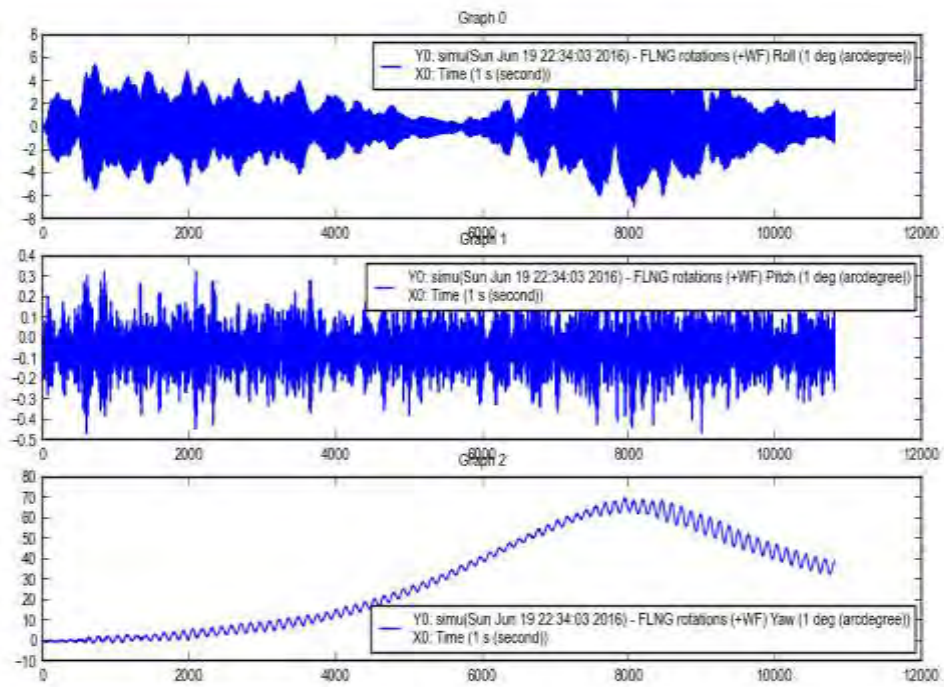
2.5 Grafik *tension*, *motion* dan *offset external turret non-collinear* 51,25 m



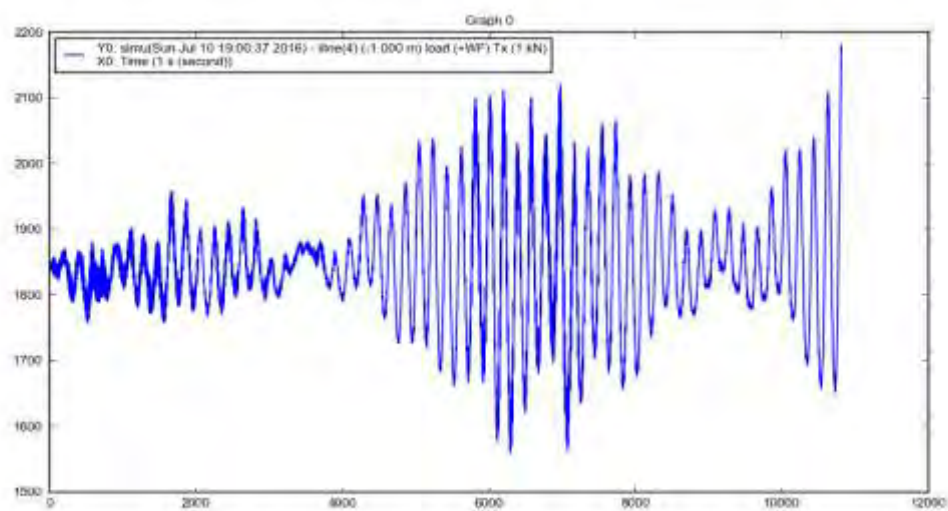
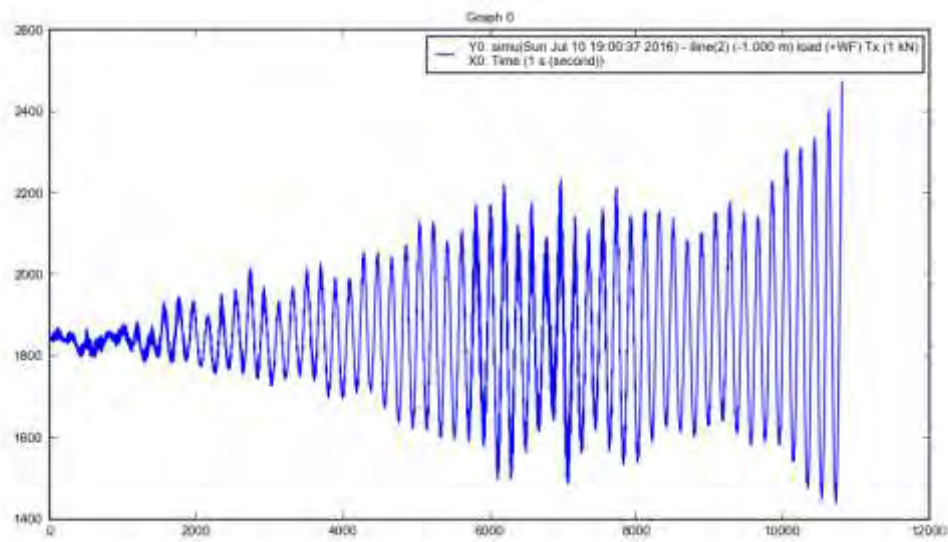
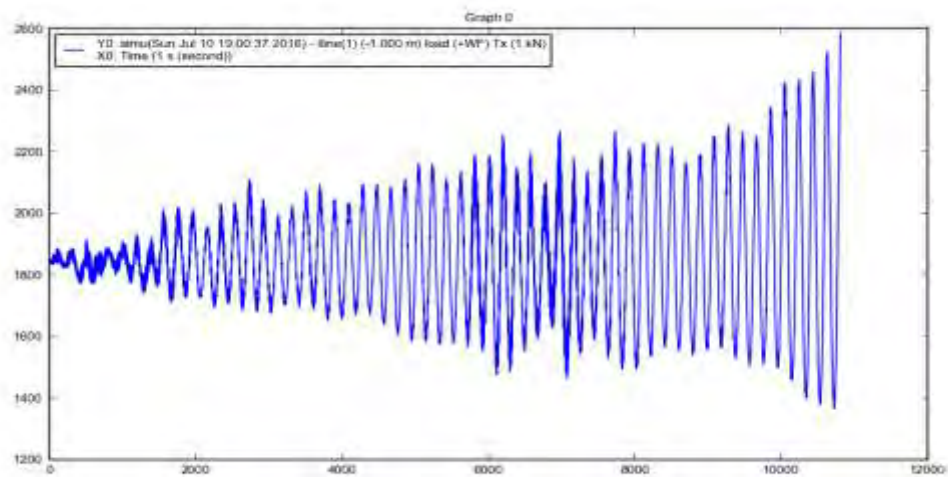


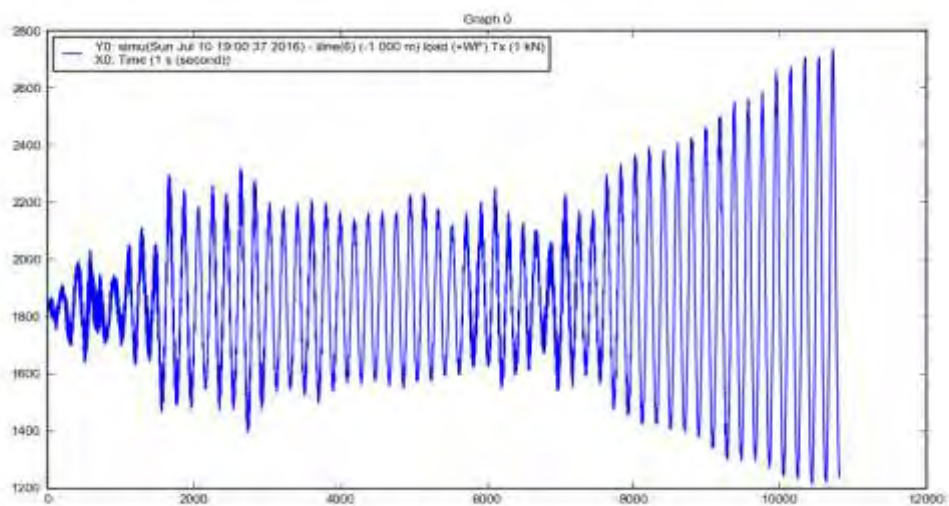
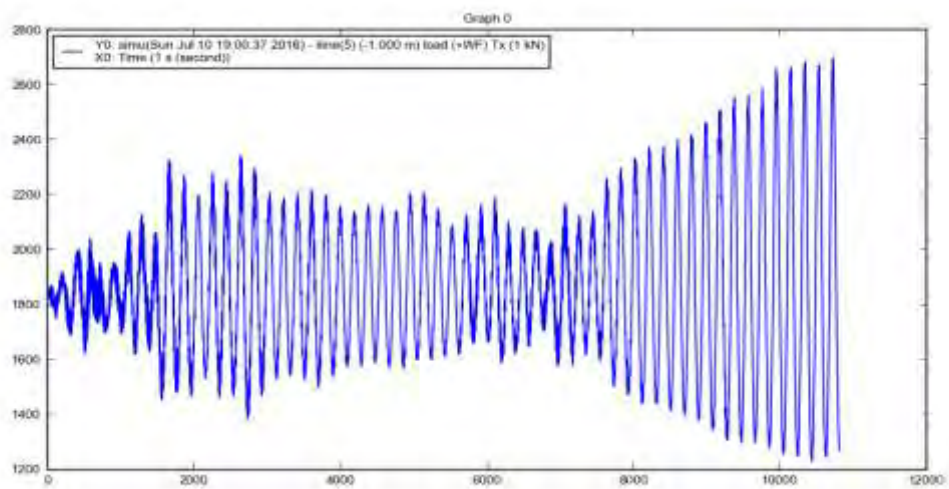
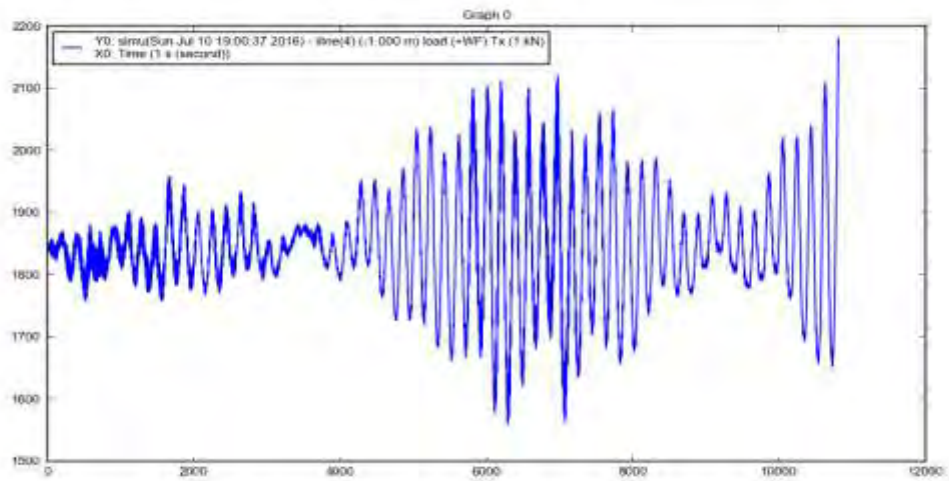


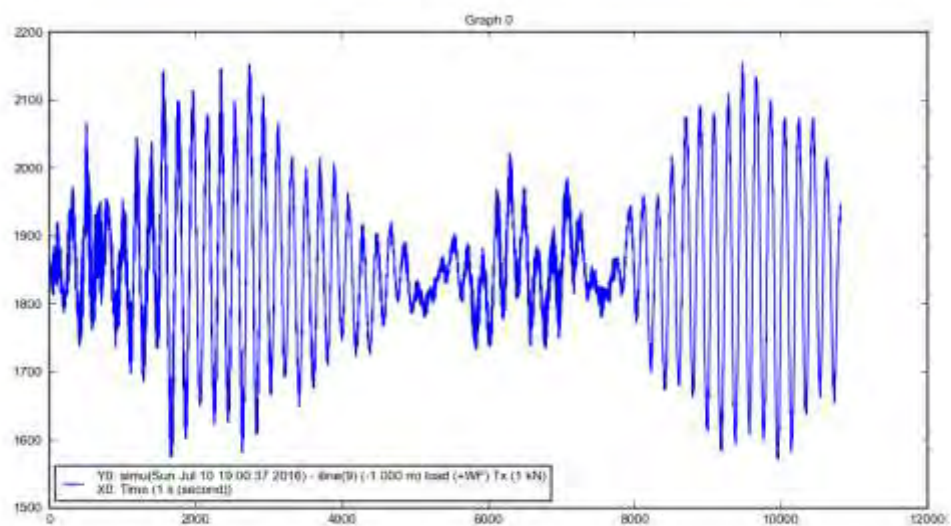
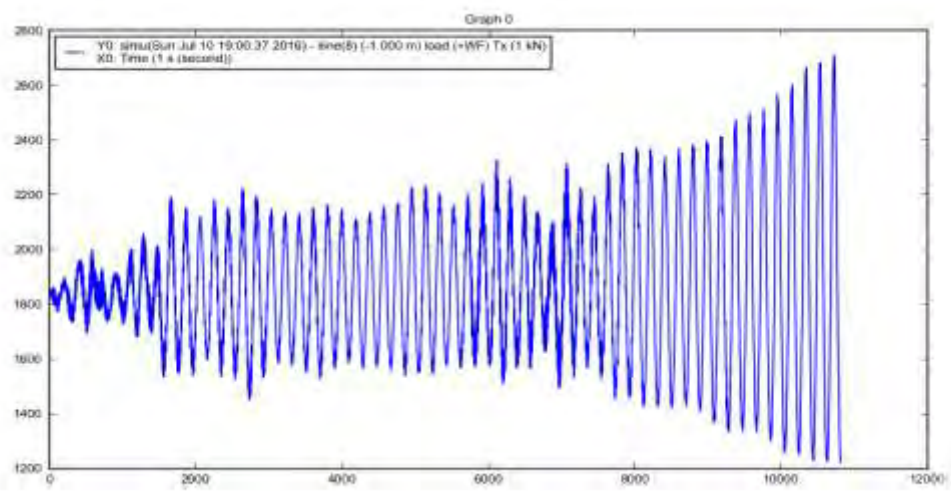
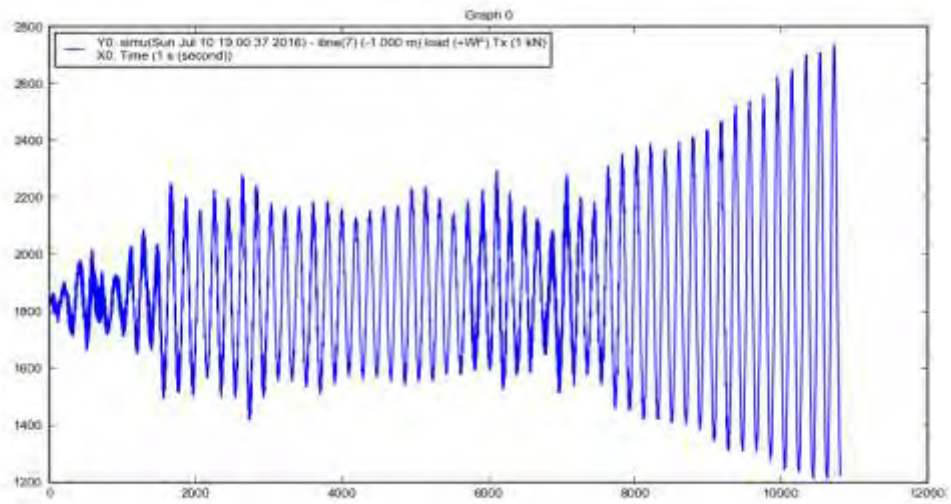


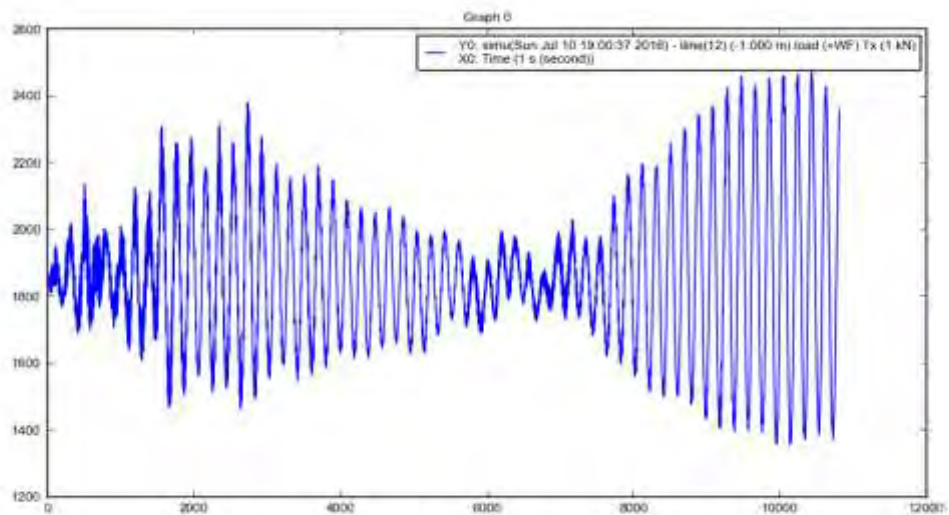
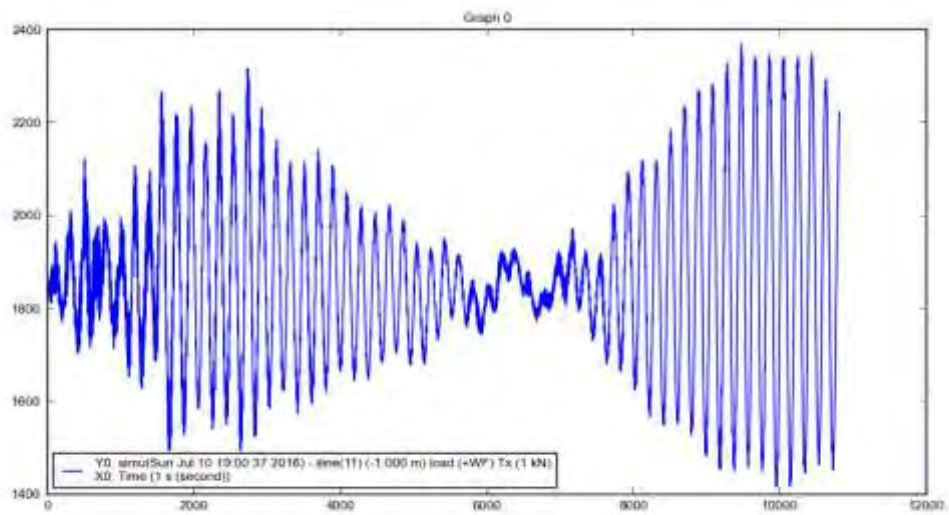
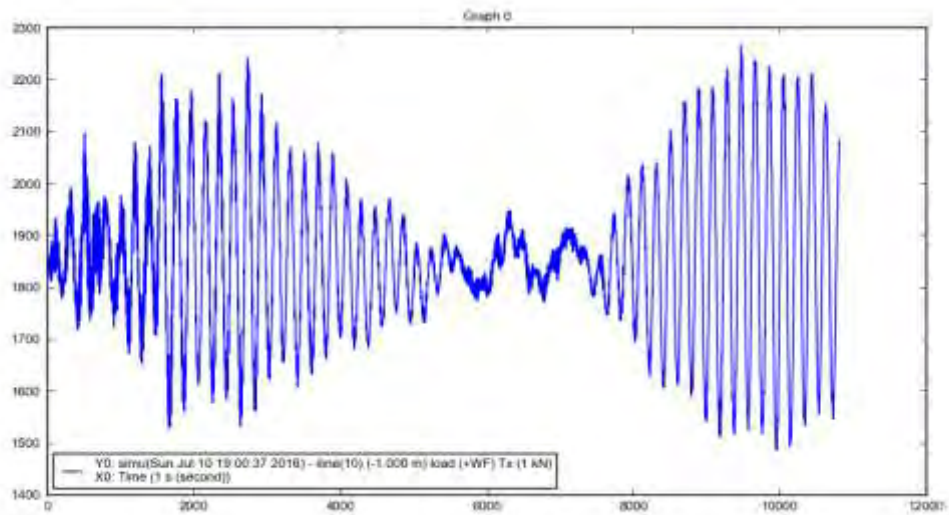


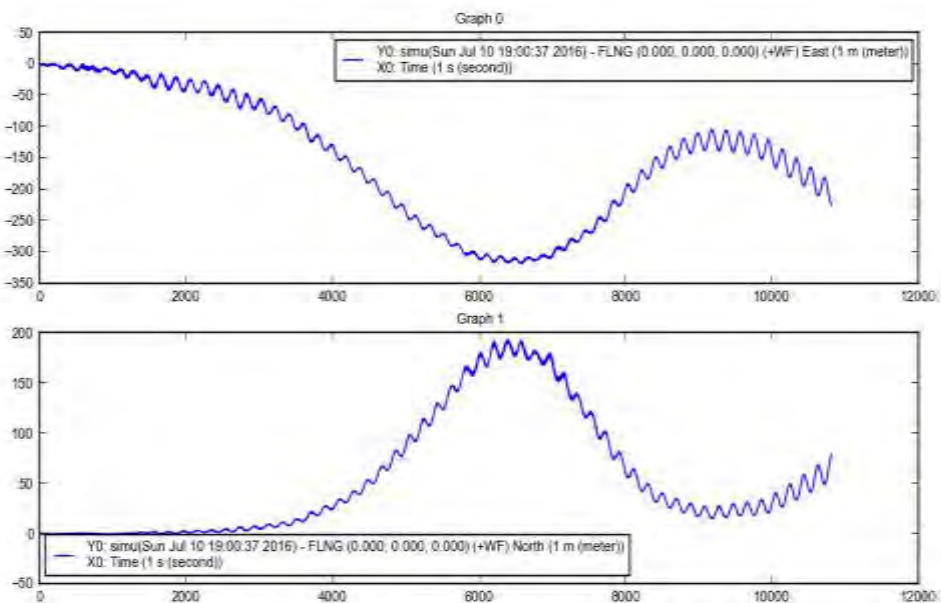
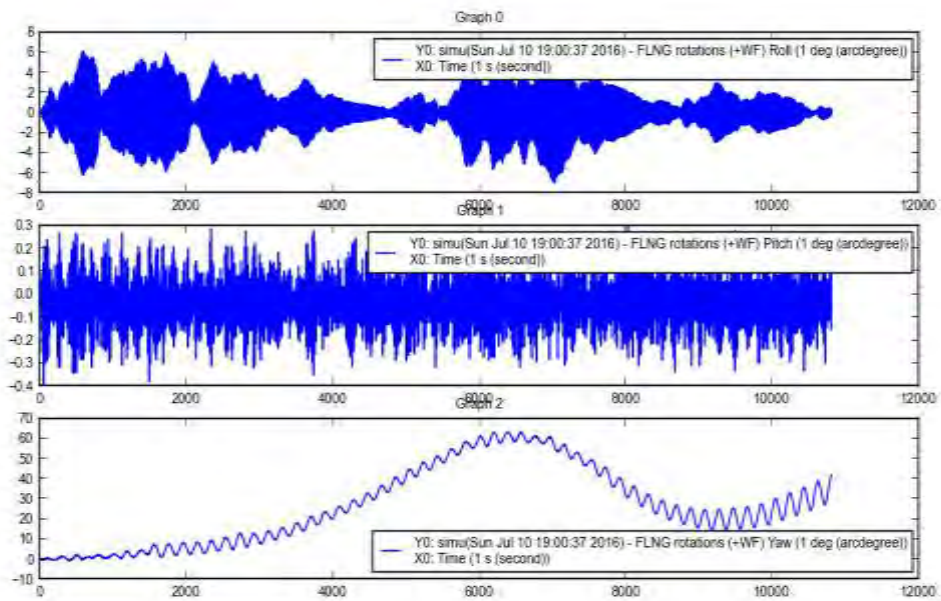
2.6 Grafik *tension*, *motion* dan *offset internal turret non-collinear* 51,25 m



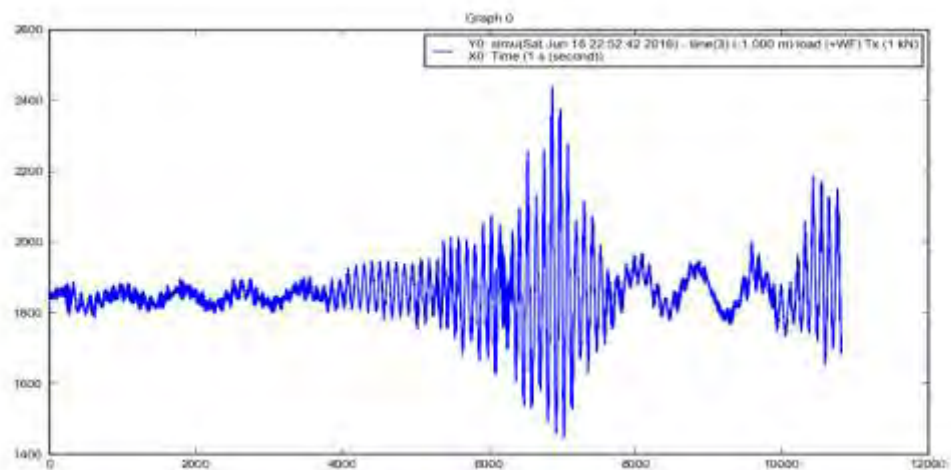
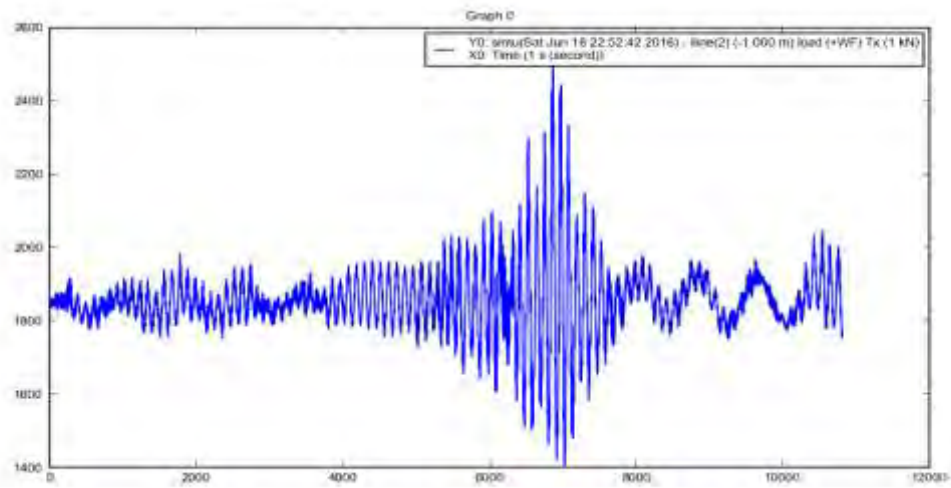
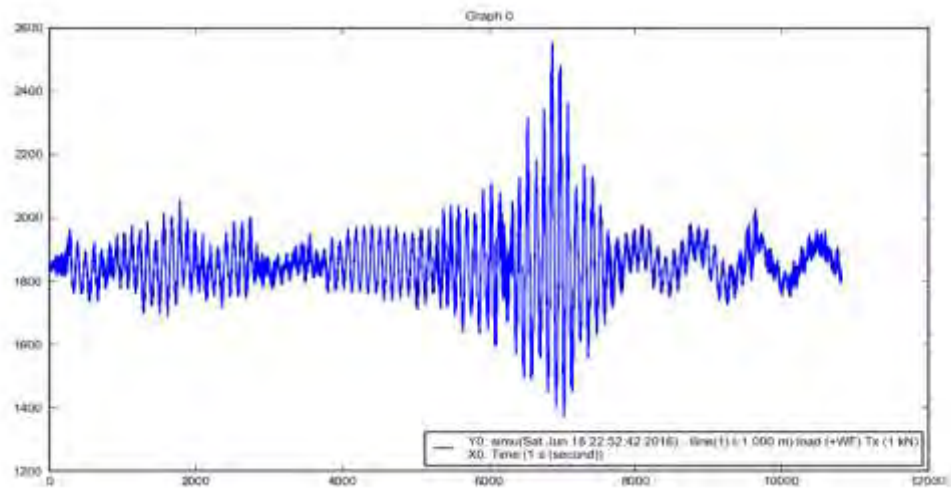


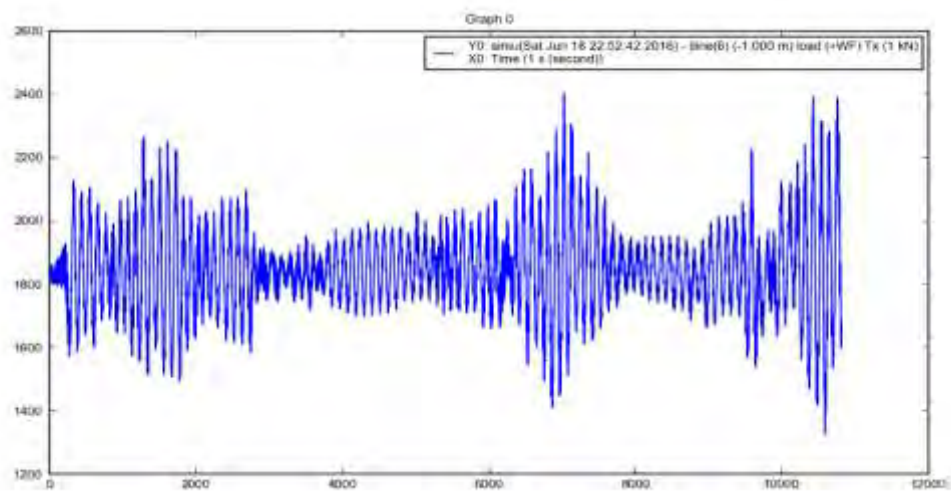
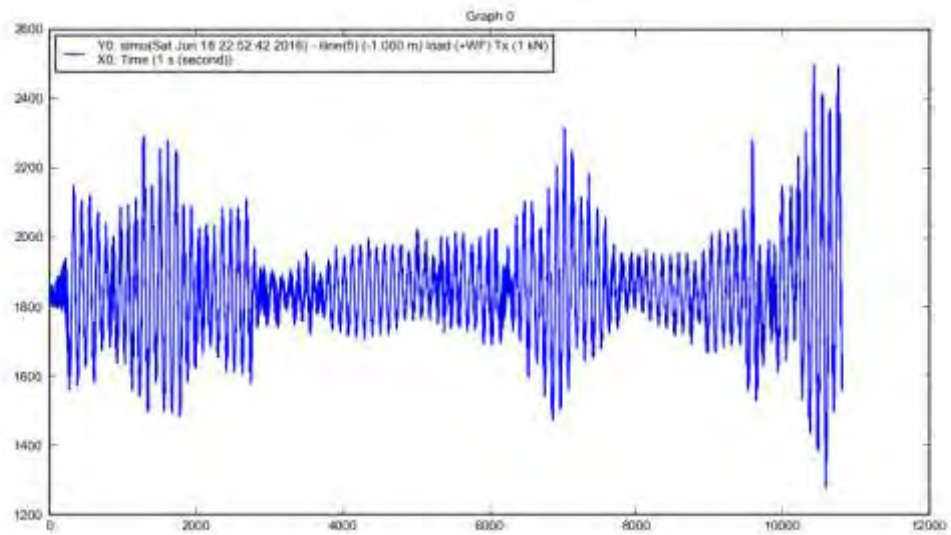
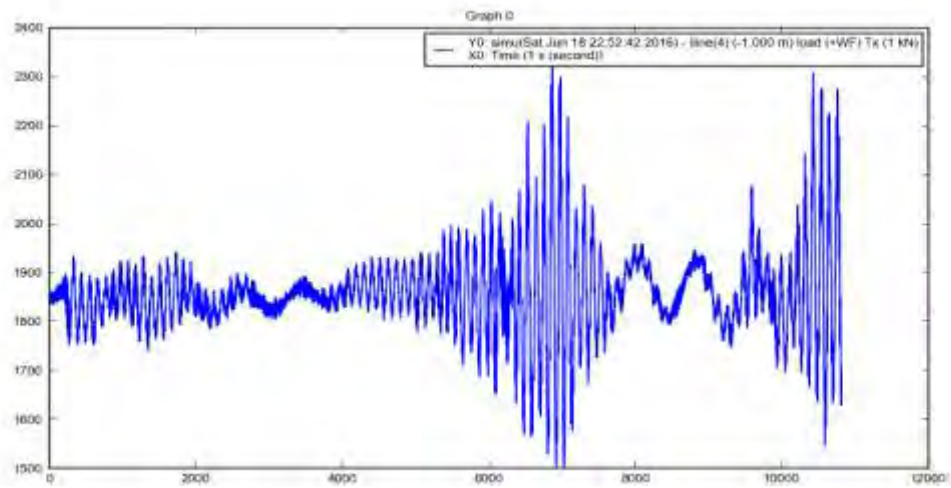


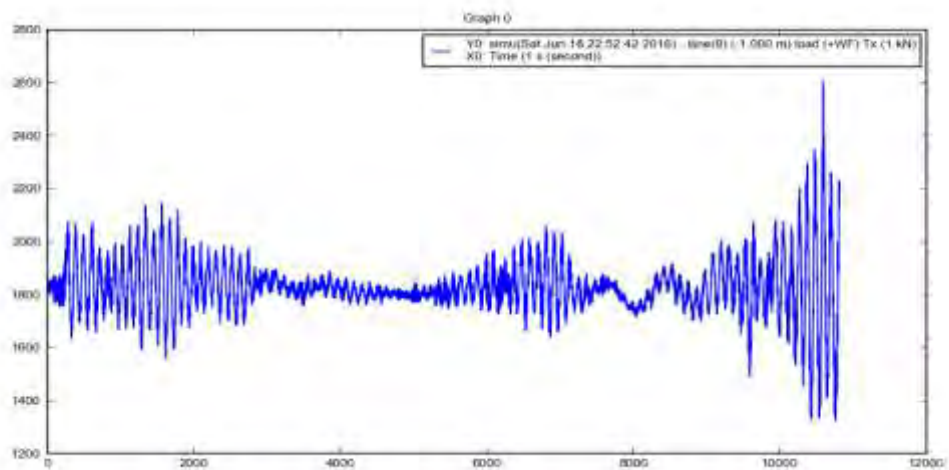
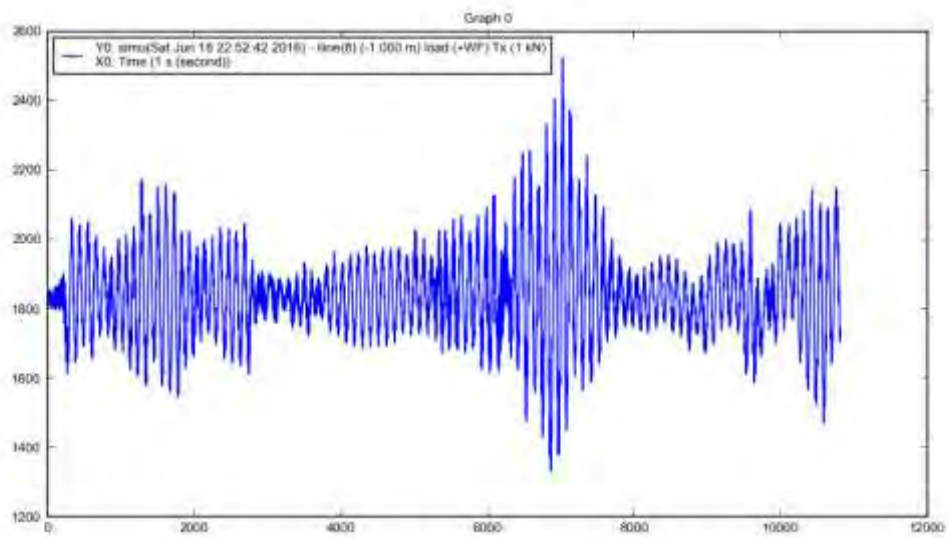
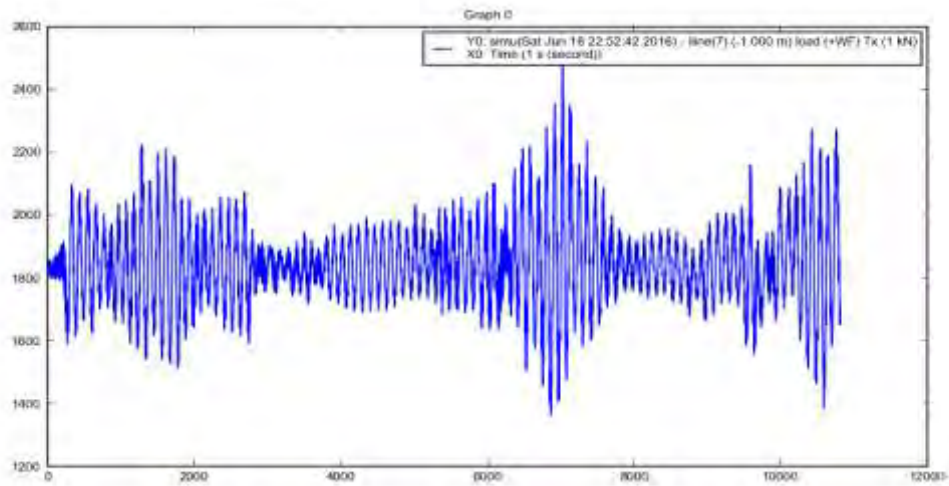


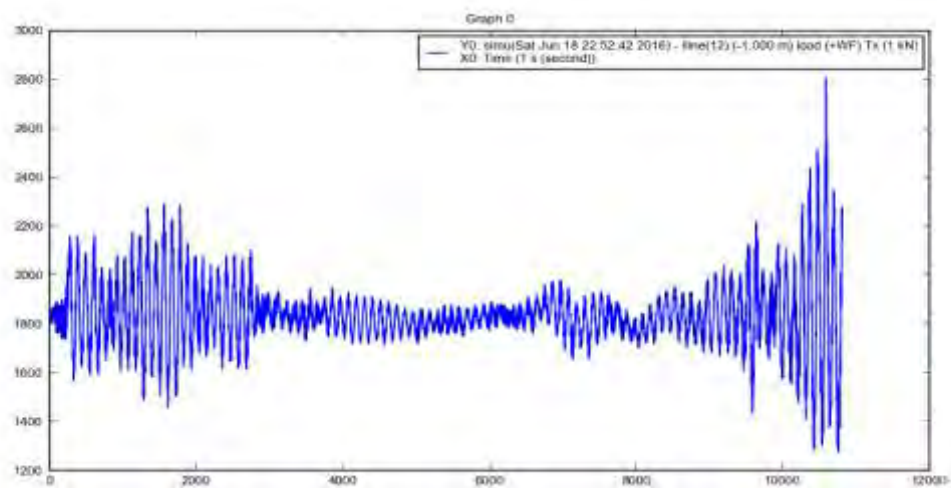
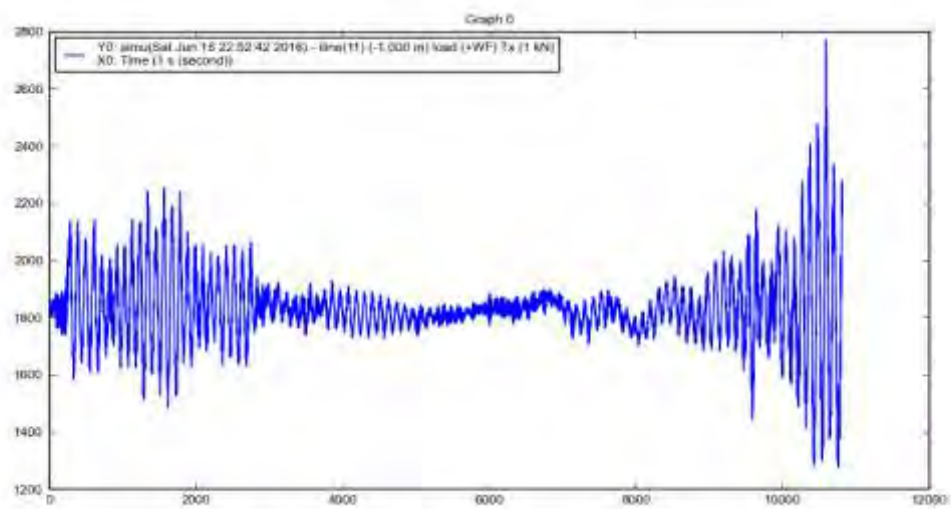
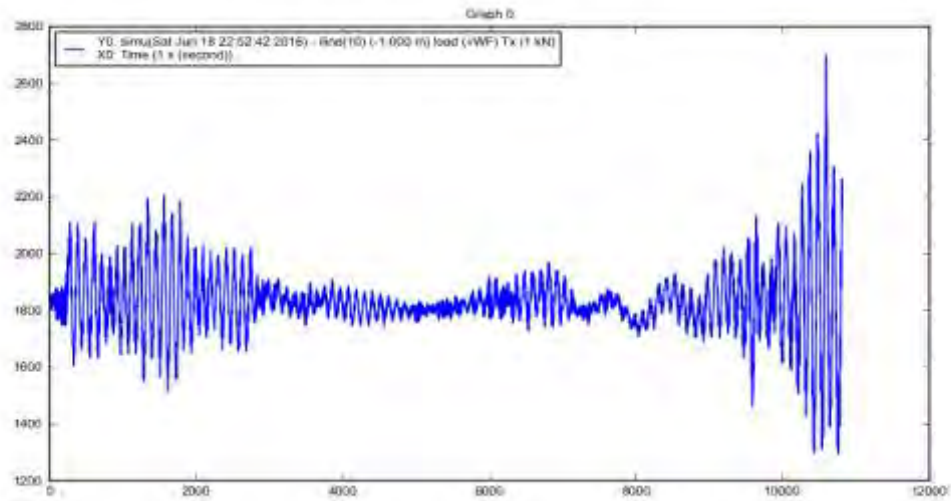


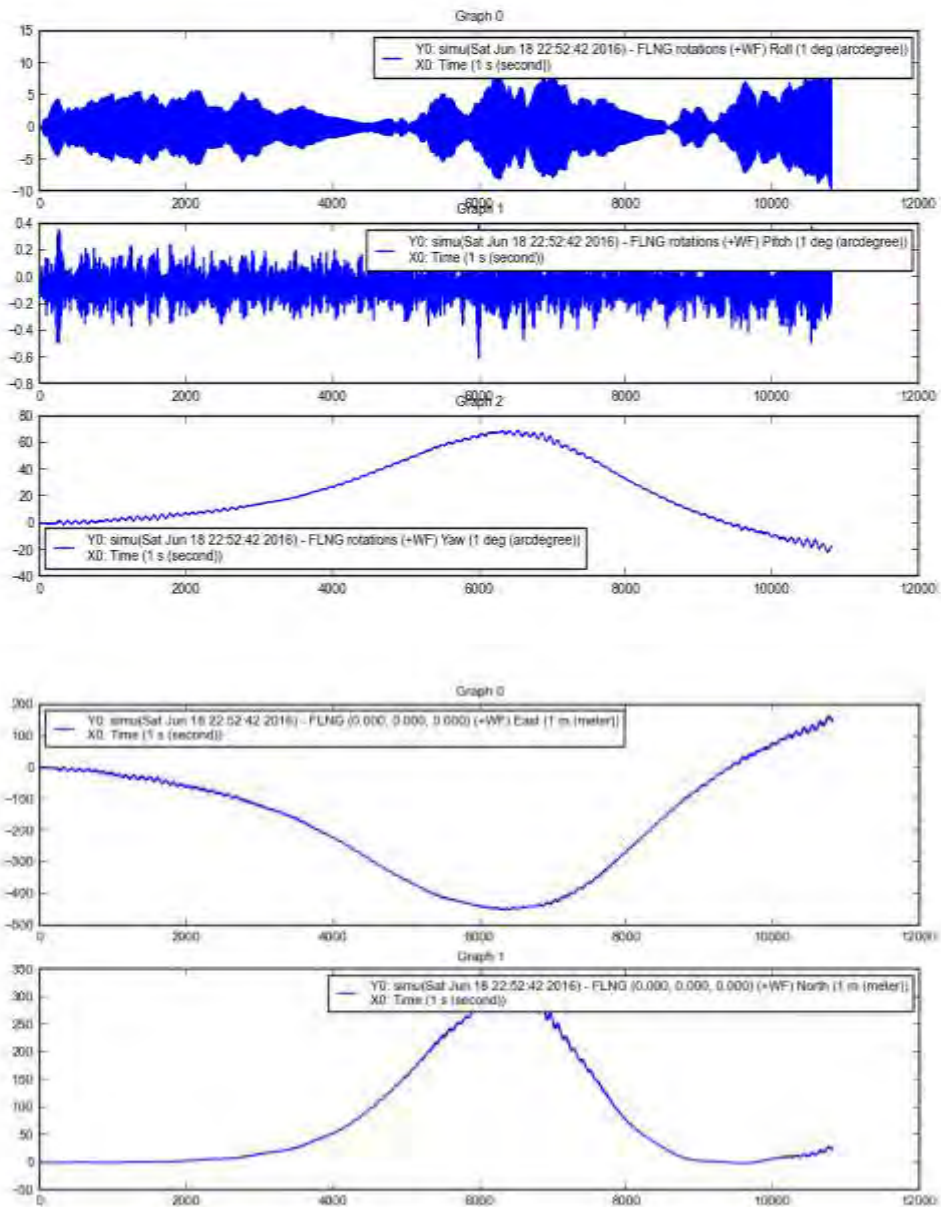
2.7 Grafik *tension*, *motion* dan *offset external turret non-collinear* 71,75 m





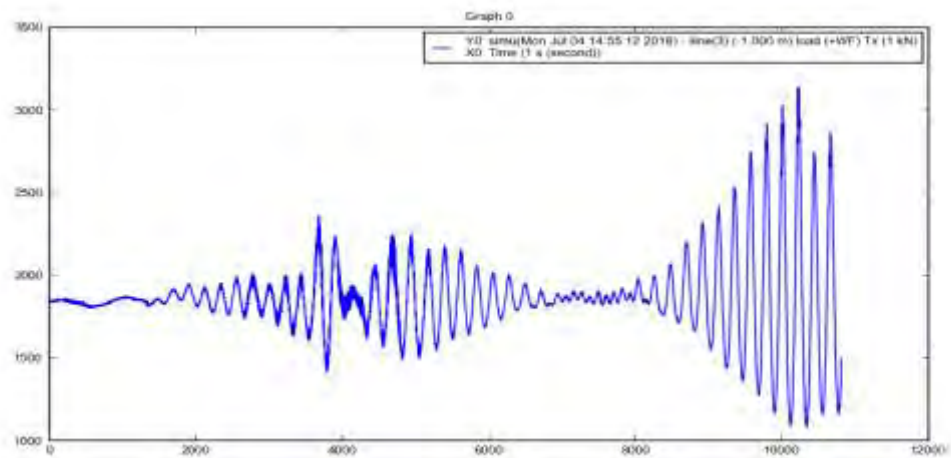
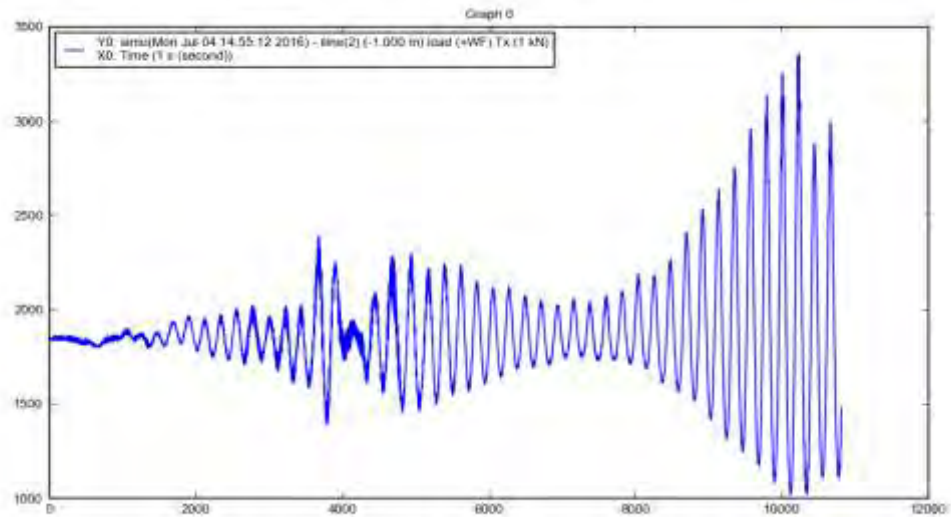
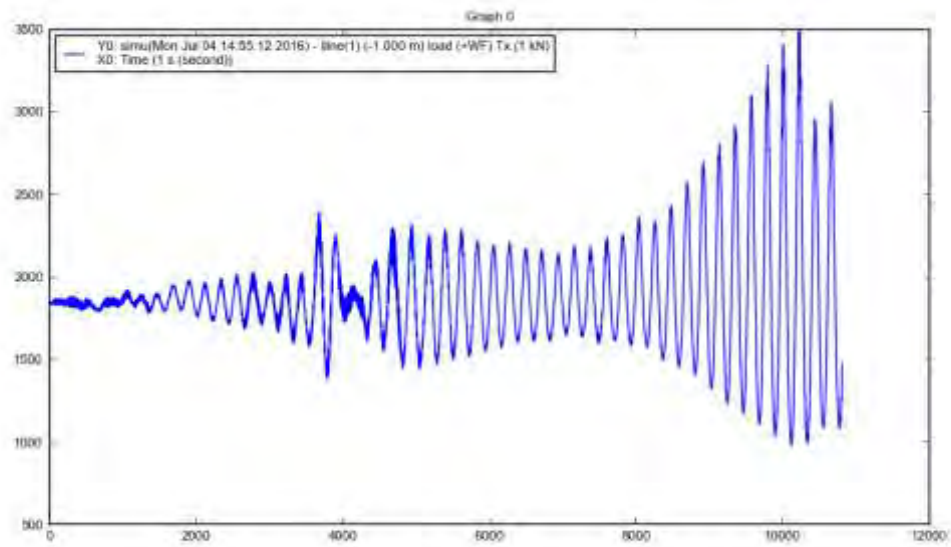


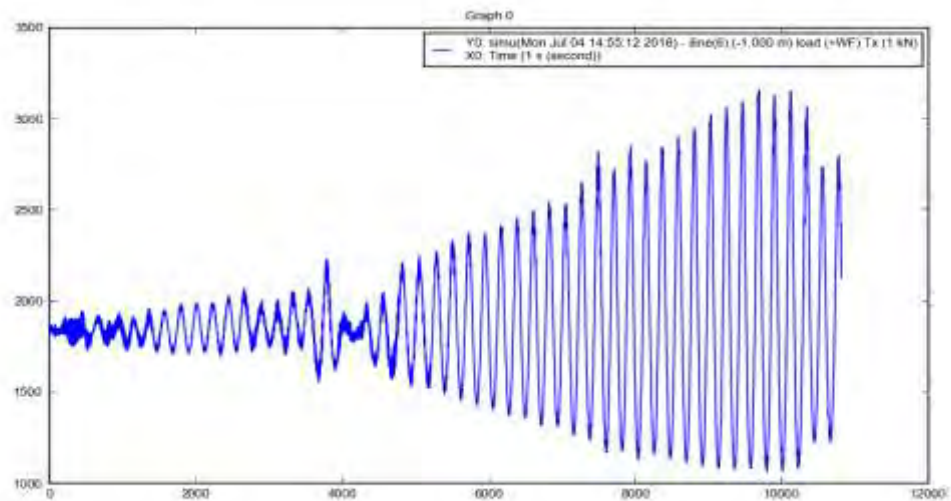
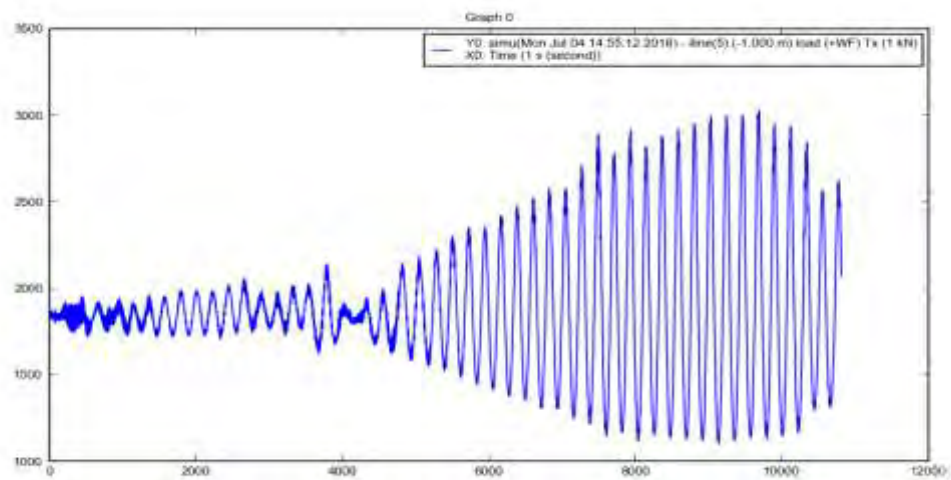
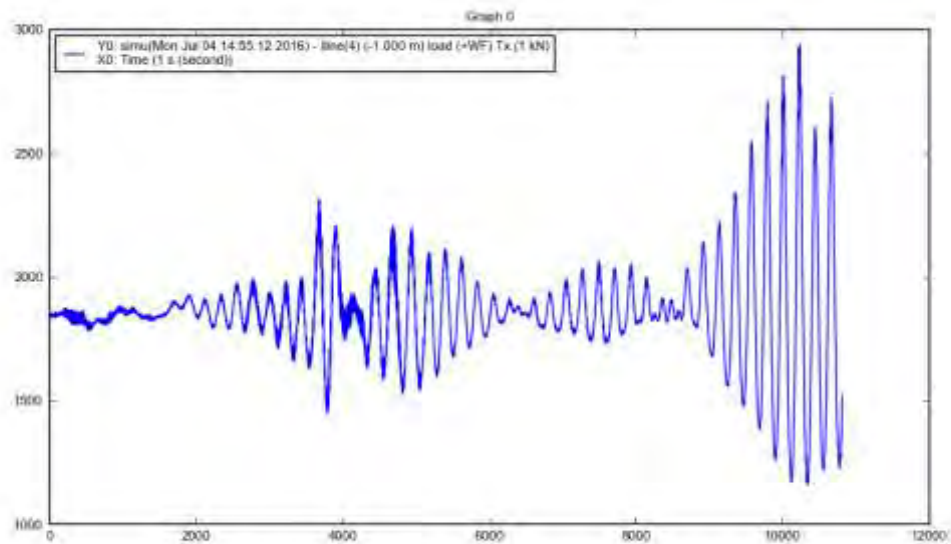


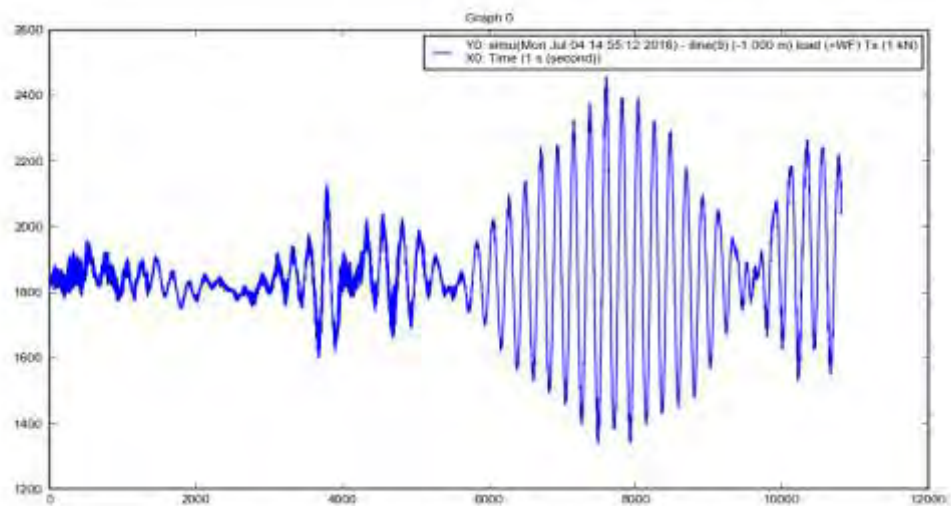
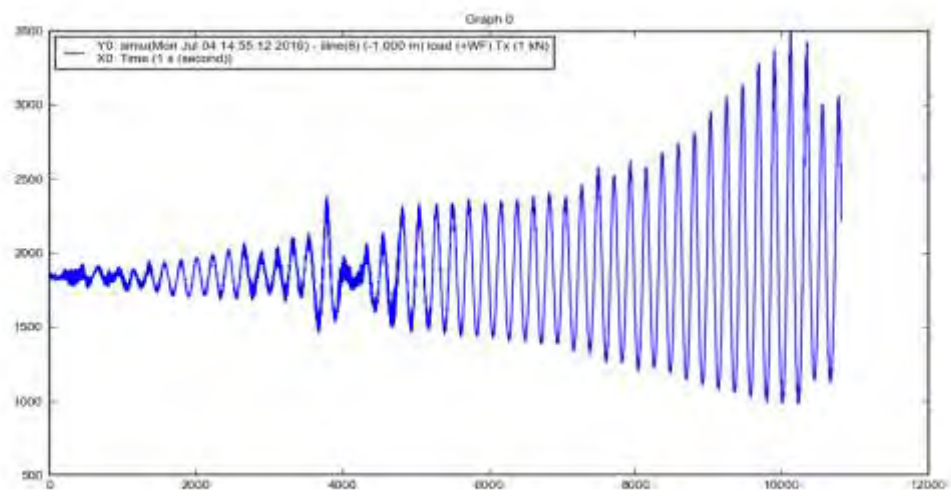
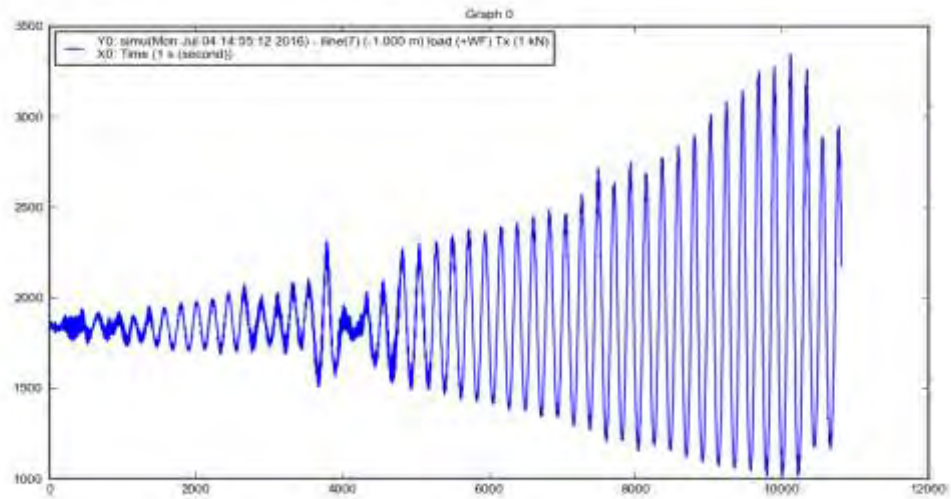


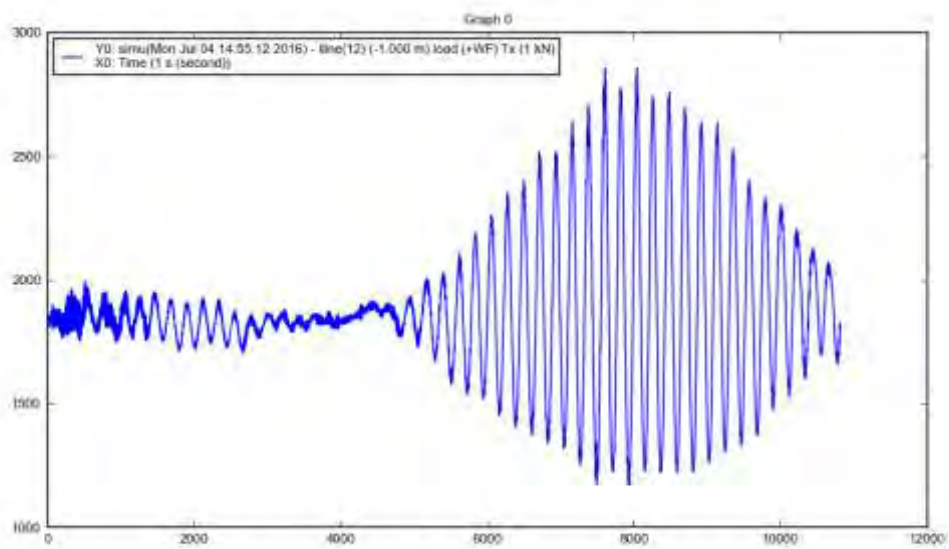
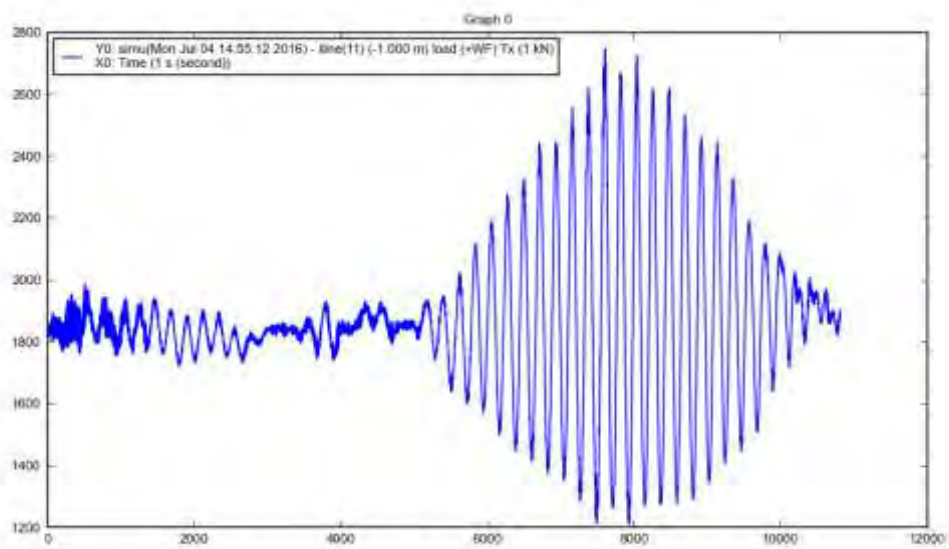
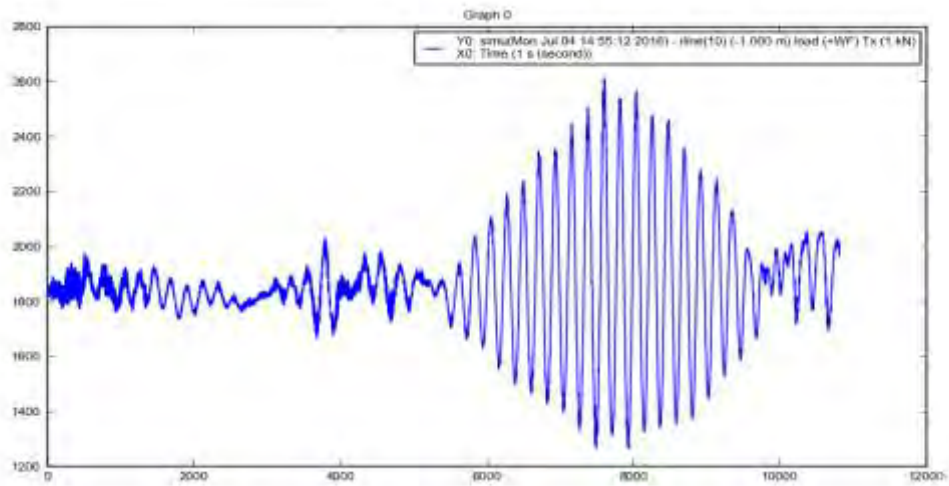
2.6 Grafik *tension*, *motion* dan *offset internal turret non-collinear* 51,25 m

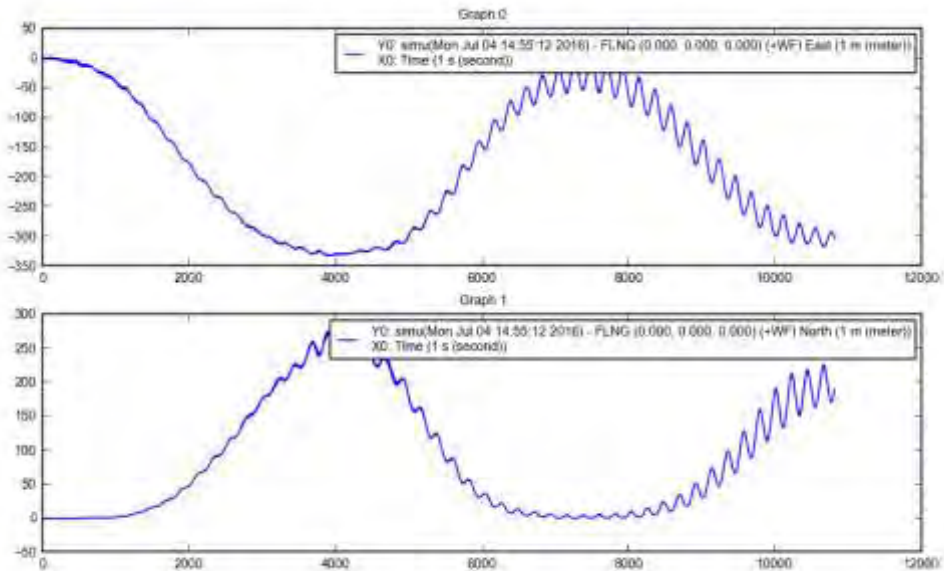
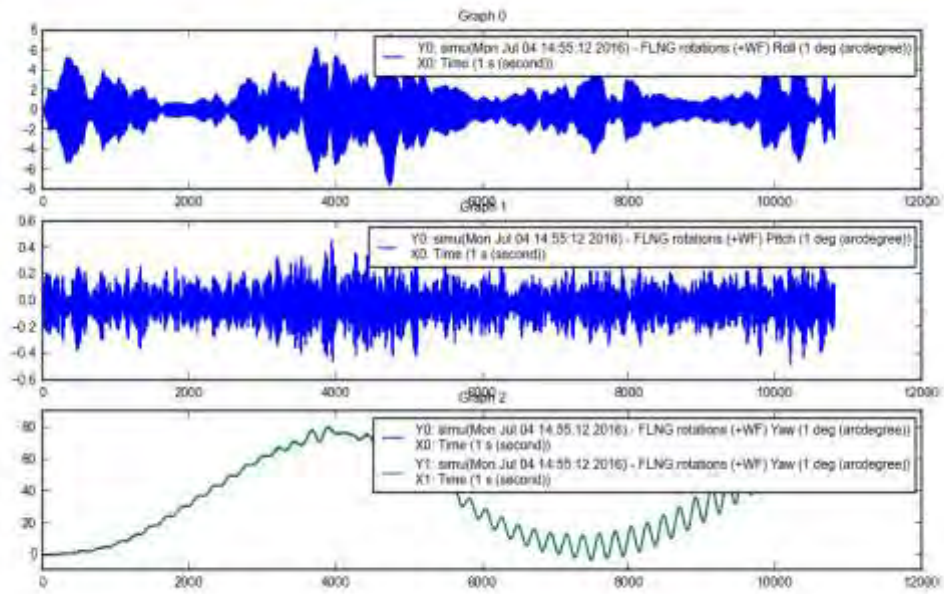
2.8 Grafik *tension*, *motion* dan *offset internal turret non-collinear* 71,25 m











BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil studi komparasi yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk RAO (*Response Amplitude Operator*) disaat *free floating* nilai RAO maksimal terjadi pada mode gerak *heave* adalah 1,277 m/m, pada mode gerak *pitch* adalah 0,591 deg/m, pada mode gerak *surge* adalah 0,985 m/m, pada mode gerak *roll* adalah 1,726 deg/m, pada mode gerak *sway* 0,986 m/m, dan pada mode gerak *yaw* 0,225 deg/m.
2. Nilai *tension*, *motion* dan *offset* pada kondisi *non-collinear* lebih signifikan dibandingkan pada kondisi *collinear* baik dalam konfigurasi *external turret mooring system* maupun *internal turret mooring system*.
3. Untuk *motion* tertambat menggunakan *external turret mooring system* dan *internal turret mooring system* hampir di seluruh mode gerak terjadi gerakan maksimal pada *external turret mooring system*. Mode gerak yang memiliki nilai maksimal terjadi pada mode gerak *yaw external turret non-collinear* sebesar 46,688 deg/m.
4. Pada analisa *tension* tali tambat seluruh kejadian *tension* maksimal terjadi pada *external turret mooring system* pada setiap konfigurasi dan pembebanan. Nilai *tension* terbesar untuk kondisi *collinear* adalah 1859,963 KN yang terjadi pada *line 3* dan untuk Nilai *tension* terbesar untuk kondisi *non-collinear* adalah 2703,084 KN yang terjadi pada *line 4*.
5. Pada analisa *offset FLNG* seluruh kejadian *offset* maksimal terjadi pada *external turret mooring system* pada setiap konfigurasi dan pembebanan. *Offset* maksimum terjadi pada *external turret non-collinear* sebesar (+) 235,131 m terhadap garis longitudinal dan senilai (-) 385,844 m terhadap garis transversal. Untuk kondisi *collinear* tidak terjadi *excursion* yang signifikan, tidak ada nilai *offset* yang melebihi 3 m di setiap konfigurasi.

6. Terdapat tren yang sama pada variasi jarak turret 26m, 51,25 m dan 71,75 m dimana konfigurasi *external turret mooring system* memiliki nilai *tension*, *motion* dan *offset* yang lebih besar dibandingkan konfigurasi *internal turret mooring system*. Titik optimal jarak turret pada penilitan ini adalah 26m dibelakang FP *internal turret mooring system* dikarenakan memiliki nilai *tension* minimum dibandingkan dengan konfigurasi lainnya.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan mengenai tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Analisis dapat dilakukan dengan menggunakan variasi jarak *turret* pada konfigurasi *internal turret* dengan melakukan eksperimen model di laboratorium, penelitian selanjutnya diberi judul –Studi Eksperimen Jarak *Turret* pada Konfigurasi *Internal Turret Mooring System*”
2. Analisis dapat dilakukan dengan menggunakan variasi jarak *turret* pada konfigurasi *external turret* dengan melakukan eksperimen model di laboratorium, penelitian selanjutnya diberi judul –Studi Eksperimen Jarak *Turret* pada Konfigurasi *External Turret Mooring System*”
3. Melanjutkan penelitian untuk melihat analisa resiko untuk membandingkan keandalan di kedua *mooring system* beserta kriteria operabilitasnya. Penelitian selanjutnya diberi judul –Studi Keandalan *Turret Mooring System* FLNG Masela Berbasis Resiko”.
4. Melanjutkan penelitian untuk melihat studi komparasi *pembangunan turret mooring system* berdasarkan variabel biaya dan fabrikasi. Penelitian selanjutnya diberi judul –Studi Komparasi Analisa Biaya dan Fabrikasi *Internal Turret Mooring System* dan *External Turret Mooring System* pada FLNG Masela.

DAFTAR PUSTAKA

- API RP2T 3rd edition, 2010 *Design and Planning of Floating System*", Washington DC, USA.
- API RP2SK 3rd edition, 2005, *Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*", Washington DC, USA.
- Bungawardani, D, 2007, *Analisa Perilaku Dinamis FPSO Dengan Sistem External Turret Mooring*", Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- Bernistas, M. M and L.O.G Rios, 1998, *Dynamics of a Turret-FPSO System and Hydrodynamic Models*", Proceedings 17th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE.
- BV, 2015, *Ariane8 for Experts User Manual*", Bureau Veritas, Paris
- BV, 2015, *HydroSTAR v7.25 for Experts User Manual*", Bureau Veritas, Paris.
- Chakrabarti, S. K., 1987, *Hydrodynamics of Offshore Structure*", Computational Mechanics Publication Southampton, Boston, USA.
- Chen, X, 2011, *Offshore Hydrodynamics and Applications*", The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering Vol.4, No.3, Aug., pp.124-142.
- Delepine, Y.M et al., 1998, *Comparative Evaluation of Disconnectable and Permanent Moorings for FPSO in Harsh Environments*", Proceedings of Offshore Technology Conference 7198, Houston, USA
- Djarmiko, E.B., 2012, *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak*", ITS Press, Surabaya, Indonesia.
- Ellen, Eric and D. Dees, 2006, *Design of A Floating Production Storage and Offloading Vessel for Offshore Indonesia*", Texas A&M University, USA.
- England, Duggal and A. Queen, 2001, *A Comparison Between Turret and Spread Moored F(P)SOs for Deepwater Field Developments*", Deep Offshore Technology, USA.
- Faltinsen, O.M., 2010, *Sea Loads and Ships and Offshore Structure*", Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- Hang, S. C., 2013, *–Numerical Study on Motion of side-by-side moored FSRU and LNGC Containing Sloshing*”, Proceeding of 2013 ISOPE Conference, Alaska, USA.
- Howell, G.B and A.S. Duggal, 2001, *–The Terra Nova FPSO Turret Mooring System*” Offshore Technology Conference, Houston, USA.
- Kannah, T. R. and Natarajan., 2006, *–Effect of Turret Location on The Dynamic Behaviour of an Internal Turret Moored FPSO System*”, Journal of Naval Architecture and Marine Engineering, India.
- Li, Xin., J. Yang and L. Xiao., 2006, *–Research on Motion Response of Soft Yoke Mooring FPSO System*, Proceedings of the Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, San Fransisco, USA.
- Liu, Y. and G. Mao,1998, *–Theory of motion of ships on waves*”. Shangai Jiao Tong University Press, China.
- OCIMF, 1992, *–Mooring Equipment Guidilines*”, UK
- Simos, A.N and Tannuri, E.A., 1998, *–Dynamics of a Turret – FPSO System and Hydrodynamics Models*”, Proceedings. 17th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE.
- Wichers, J.E.W, 1988, *–A Simulation Model for Single Point Moored Tanker*”, Maritime Research Institute Netherlands, Wageningen, Netherlands.
- Wichers, J.E.W and C.Q Ji, 1997, *–Behaviour of Turret Moored Tankers in Combined Extreme Metocean Parameters*”, Offshore Technology Conference, Houston, USA.
- Yilmaz, O. and A. Incecik, 1994, *–Hydrodynamic Design of Moored Floating Platform*”, Marine Structure 9 545-574, UK.

BIODATA PENULIS



Theolevi Rahman Daffa dilahirkan di Jakarta pada tanggal 22 Oktober 1994, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar hingga Sekolah Menengah Atas di Kota Sukabumi, Jawa Barat. Setelah lulus SMA pada tahun 2012, penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui program mandiri dan terdaftar dengan NRP 4312100109. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan seperti asisten laboratorium Hidrodinamika ITS, dan *Society of Petroleum Engineers ITS Student Chapter*. Penulis terpilih sebagai Young Leaders Indonesia National Wave 8 – McKinsey and Company dan mengikuti berbagai lomba keilmiah baik skala nasional maupun internasional. Pada tahun 2015 penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di perusahaan *engineering consultan and survey* yaitu PT. Global Maritime Indonesia di BSD, Tangerang Selatan. Selama masa studi strata 1 yang ditempuh selama 4 tahun, penulis tertarik dalam bidang hidrodinamika dan perancangan struktur bangunan laut sehingga dalam tugas akhir ini mengambil topik analisis *turret mooring system*.

Kontak Penulis :

Email : **theolevidaffa@gmail.com**

Telepon : +62 85659753753